



TUGAS AKHIR - TM 145502

**PENGARUH VARIASI SUHU *PREHEAT*
TERHADAP SIFAT MEKANIS MATERIAL SA 516
GRADE 70 YANG DISAMBUNG DENGAN
METODE PENGELASAN *SMAW BUTT JOINT***

ABDILLAH GIGIH BIMANTORO
NRP.2112 030 004

Dosen Pembimbing
Ir. Gathot Dwi Winarto, MT
19580915 198701 1 001

PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2015



FINAL PROJECT - TM 145502

**THE EFFECT OF PREHEAT TEMPERATUR
VARIATION ON THE MECHANICAL
PROPERTIES OF THE MATERIAL SA 516 GR
70 WHICH ARE CONNECTED BY BUTT JOINT
SMAW WELDING METHOD**

**ABDILLAH GIGIH BIMANTORO
NRP 2112 030 004**

**Academic Supervisor
Ir. Gathot Dwi Winarto, MT
19580915 198701 1 001**

**PROGRAM STUDY DIPLOMA III
DEPARTEMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty Of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2015**

LEMBAR PENGESAHAN

“PENGARUH VARIASI SUHU PREHEAT TERHADAP SIFAT MEKANIK MATERIAL SA 516 GRADE 70 YANG DISAMBUNG DENGAN METODE PENGELASAN SMAW BUTT JOINT”

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
Pada**

**Bidang Studi Manufaktur
Program Studi Diploma III Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh :

ABDILLAH GIGIH BIMANTORO

NRP. 2112 030 004

**Mengetahui dan Menyetujui
Dosen Pembimbing**



**Ir. Gatot Dwi Winarto, MT
19580915 198701 1 001**

SURABAYA,

JUNI 2015

PENGARUH VARIASI SUHU PREHEAT TERHADAP SIFAT MEKANIS MATERIAL SA 516 GRADE 70 YANG DISAMBUNG DENGAN METODE PENGELASAN SMAW BUTT JOINT

Nama : Abdillah Gigih Bimantoro
NRP : 2112 030 004
Jurusan : D3 Mechanical Engineering FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Gathot Dwi Winarto, MT

Abstrak

Teknologi dalam pengelasan semakin berkembang dengan pesat dimana untuk memperbaiki hasil pengelasan dilakukan proses *Preheat*, yang bertujuan untuk mengurangi nilai perubahan bentuk / *Distorsi* akibat dari proses pengelasan. Dalam dunia industri jika barang yang diproduksi seperti *heat exchanger*, *pressure vessel* dan lain lain biasanya dalam proses *repair* selalu dilakukan proses preheat dahulu sebelum proses pengelasan, biasanya dalam pembuatanya menggunakan material SA 516 gr 70 yang memang diperuntukan untuk bejana tekan dan harus mempunyai nilai keamanan yang tinggi.

Dari penelitian ini akan membandingkan variasi suhu preheat terhadap sifat mekanis dari material dengan pengujian *hardness test*, *impact test* dan makroetsa, dengan proses *preheat* 0°C (tanpa *preheat*), 150°C, 200°C, dan 250°C.

Dari hasil penelitian yang didapatkan semakin tinggi temperatur *preheat* maka nilai kekerasan dari material akan turun dan ketangguhanya meningkat, nilai kekerasan rata-rata paling rendah terdapat pada daerah base metal dan yang paling tinggi pada daerah *weld metal*. Sedangkan nilai ketangguhan paling tinggi di peroleh pada daerah *base metal* yang dikenakan preheat 250°C.

Kata-kata kunci : *Preheat*, pengelasan *SMAW*, *hardness test*, *impact test* dan makroetsa.

THE EFFECT OF PREHEAT TEMPERATUR VARIATION ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE MATERIAL SA 516 GR 70 WHICH ARE CONNECTED BY BUTT JOINT SMAW WELDING METHOD

Name of Student : Abdillah Gigih Bimantoro
NRP : 2112 030 004
Major : D3 Mechanical Engineering FTI-ITS
Advisor : Ir. Gathot Dwi Winarto, MT

Abstract

In welding technology is growing by leaps and bounds in which to fix the results of the welding done preheat process, which aims to reduce the value of deformation / distortion due to the welding process. In the industrial world if the goods are produced such as heat exchanger, pressure vessels and others are usually in the repair process is always done preheat process before the welding process, in the manufacture of heat exchanger material that is often used is a material SA 516 gr 70 which is intended for pressure vessel and must have high security value.

This research will compare preheat temperature variation of the mechanical properties of the material by testing Hardness Test, Impact Test and Makroetsa, with process variation preheat, no preheat, preheat 150⁰C, 200⁰C preheat and preheat 250⁰C.

From the results obtained, the higher the preheat temperature, the hardness of the material will go down and the value of increased toughness, hardness value of the lowest average, contained in base metal regions, and the highest are in the area of weld metal. While most high toughness values obtained in base metal regions which do preheat 250⁰C.

Key word : *Preheat, SMAW, hardness test, impact test and makroetsa.*

KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa, serta atas segala Rahmat dan Karunia-Nya. Sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Tugas Akhir yang berjudul :

“PENGARUH VARIASI SUHU PREHEAT TERHADAP SIFAT MEKANIS MATERIAL SA 516 GRADE 70 YANG DISAMBUNG DENGAN METODE PENGELASAN SMAW BUTT JOINT”

dapat diselesaikan dengan baik.

Laporan ini disusun sebagai salah satu persyaratan yang harus dipenuhi oleh setiap mahasiswa Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS untuk bisa dinyatakan lulus dengan mendapatkan gelar Ahli Madya.

Kiranya penulis tidak akan mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini tanpa bantuan, saran, dukungan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak **Ir. Gathot Dwi Winarto, MT** selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan ide, arahan, bimbingan dan motivasi selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
2. Bapak **Ir. Suhariyanto, MT** selaku kaprodi D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
3. Ibu **Liza Rusdiyana, ST, MT** selaku koordinator Tugas Akhir D3 Teknik Mesin FTI-ITS.
4. **Ir. Mahirul Mursid, M.Sc** selaku Dosen Wali selama di D3 Teknik Mesin FTI-ITS.

5. Segenap Bapak/Ibu **Dosen Pengajar dan Karyawan** di Jurusan D3 Teknik Mesin FTI-ITS, yang telah memberikan banyak ilmu dan pengetahuan selama penulis menuntut ilmu di kampus ITS.
6. Tim **Dosen Penguji** yang telah banyak memberikan saran dan masukan guna kesempurnaan Tugas Akhir ini.
7. Orang tua tercinta **Bapak dan Ibu** serta **kakak** yang selalu memberikan semangat, doa ,serta dukungan dalam bentuk apapun.
8. **Febri, Rouf, dan Bang Asep** yang telah berbagi rasa suka, duka dan pengalaman dalam tim ini.
9. **Teman – teman angkatan 2011 – 2012**, atas kebersamaan dan kerjasamanya selama ini.
10. **PT. Pelangi Indokarya** yang telah memberikan kesempatan penulis menggunakan tempat kerja untuk melakukan praktikum pengelasan .
11. **Rekan – rekan PPNS 2010,2012** yang telah membantu penulis selama pengerjaan tugas akhir.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga penulis mengharapkan adanya kritik dan saran dari berbagai pihak, yang dapat mengembangkan Tugas Akhir ini menjadi lebih baik. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi pembaca dan mahasiswa, khususnya mahasiswa Program studi Sarjana Teknik Mesin FTI-ITS dan D3 Teknik Mesin FTI-ITS.

Surabaya, Juni 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PENGESAHAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	x

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan	2

BAB II DASAR TEORI

2.1 Definisi Pengelasan	3
2.1.1 SMAW	3
2.1.2 Posisi Pengelasan	4
2.1.3 Heat Input	6
2.1.4 Kodefikasi Elektroda	6
2.2 Material	7
2.3 Preheat	8
2.3.1 Beberapa Alasan Preheating	9
2.4 Impact Test	10
2.4.1 Metodologi pengujian impact	13
2.5 Pengujian Kekerasan	14
2.5.1 Pengujian Kekerasan Rockwell	15
2.6 Metalography test	16

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Flow Chart Penelitian	19
3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	21
3.3 Tempat	21
3.4 Langkah kerja	21
3.4.1 Studi literatur	21
3.4.2 Persiapan Material.....	21
3.4.3 Pengelasan	23
3.4.4 Persiapan Benda uji.....	27
3.4.5 Pengambilan Test Piece.....	27

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Uji Kekerasan Hardness Rockwell.....	31
4.2 Analisa Pengujian Impact.....	34
4.3 Analisa Pengujian Metalography.....	41
4.3.1 Pengujian Makro.....	41

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan.....	49
5.2 Saran	50

DAFTAR PUSTAKA.....	51
----------------------------	-----------

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS

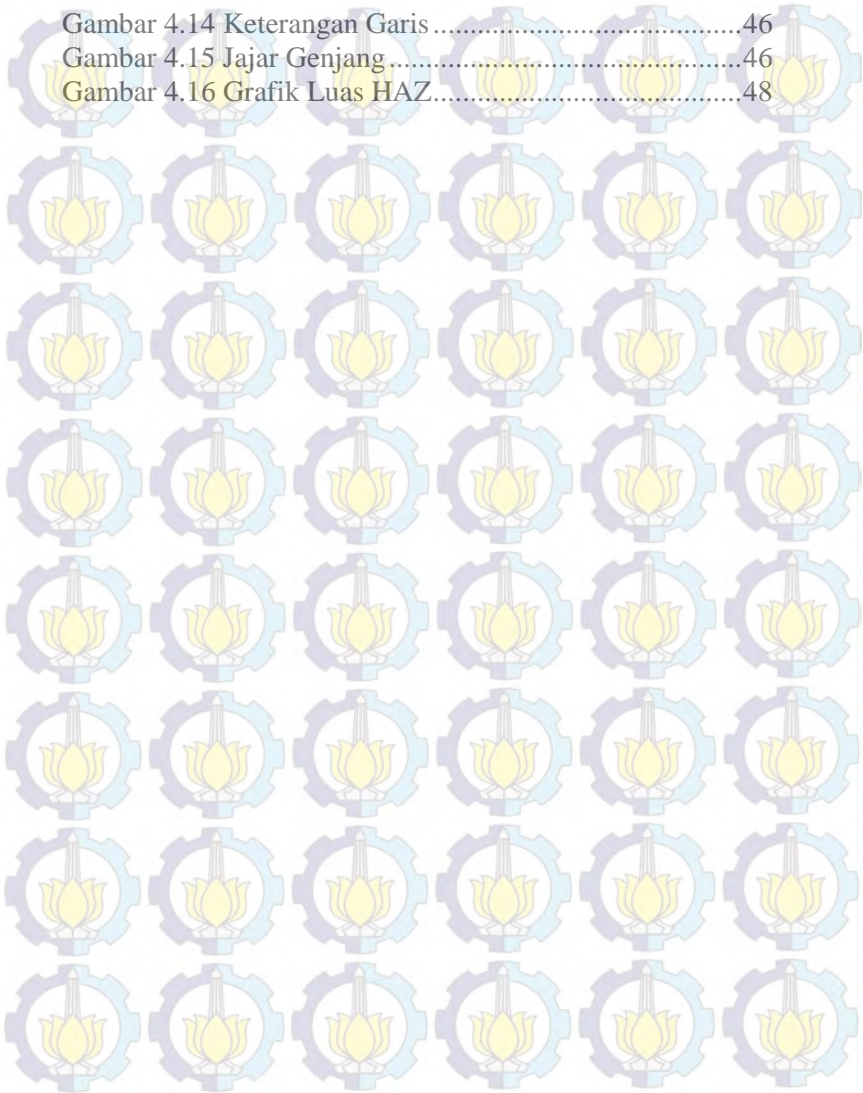
DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai <i>Chemical Composition</i>	7
Tabel 2.2 Sifat mekanik SA 516 grade 70.....	8
Tabel 2.3 Skala Uji Kekerasan <i>Rockwell</i>	16
Tabel 3.1 Logam Induk dan Pengisi E 7016 dan E 8018...	24
Tabel 3.2 Parameter Pengelasan.....	24
Tabel 4.1 Data Hasil Uji Kekerasan	32
Tabel 4.2 Nilai kekerasan rata-rata.....	33
Tabel 4.3 Data Pengujian impact Tanpa Preheat	35
Tabel 4.4 Data pengujian impact Preheat 150 ⁰ C.	36
Tabel 4.5 Data Pengujian impact Preheat 200 ⁰ C.	37
Tabel 4.6 Data Pengujian impact Preheat 250 ⁰ C	38
Tabel 4.7 Nilai Rata-rata Uji Impact.....	39
Tabel 4.8 Lebar HAZ.....	47
Tabel 4.9 Lebar rata-rata HAZ.....	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses Pengelasan SMAW	4
Gambar 2.2 Posisi pengelasan 1G	4
Gambar 2.3 Posisi pengelasan 2G	5
Gambar 2.4 posisi pengelasan 3 G	5
Gambar 2.5 Posisi pengelasan 4 G	6
Gambar 2.6 Skema Perhitungan Energi Impact	11
Gambar 2.7 Macam-macam Bentuk Takikan.....	13
Gambar 2.8 Metode Charpy dan Izod	14
Gambar 2.9 Prinsip Kerja <i>Rockwell</i>	15
Gambar 2.10 Pantulan Sinar Pada <i>Metalograph Test</i>	17
Gambar 3.1 <i>Flow Chart Diagram</i>	19
Gambar 3.2 <i>Flow Chart Diagram</i> (Lanjutan).....	20
Gambar 3.3 Dimensi Material.	22
Gambar 3.4 Sudut Bevel Yang Digunakan.....	22
Gambar 3.5 Material Dengan Kampuh 30°	22
Gambar 3.6 Polaritas lurus dan balik	25
Gambar 3.7 Proses Preheat.....	25
Gambar 3.8 Proses Pengelasan.....	26
Gambar 3.9 Pengukuran Suhu Dengan <i>Thermo gun</i>	26
Gambar 3.10 Alat Uji Kekerasan Rockwell.....	27
Gambar 3.11 Lokasi Identasi Uji Kekerasan.....	28
Gambar 3.12 Dimensi Spesimen Impak	28
Gambar 3.13 Alat dan Bahan Untuk Proses Eta.....	30
Gambar 3.14 Larutan Etsa ($HCL+HNO_3+H_2O$).....	30
Gambar 4.1 Lokasi indentasi.....	31
Gambar 4.2 Lokasi indentasi	31
Gambar 4.3 Grafik Uji Kekerasan.....	33
Gambar 4.4 Bentuk Takikan	34
Gambar 4.5 Grafik Uji Impak	40
Gambar 4.6 Non Preheat	41
Gambar 4.7 Dimensi Non Preheat.....	42
Gambar 4.8 Preheat 150°C	42
Gambar 4.9 Dimensi Preheat 150°C.....	43
Gambar 4.10 Preheat 200°C	43

Gambar 4.11 Dimensi Preheat 200 ⁰ C.....	44
Gambar 4.12 Preheat 250 ⁰ C	44
Gambar 4.13 Dimensi Preheat 250 ⁰ C.....	45
Gambar 4.14 Keterangan Garis	46
Gambar 4.15 Jajar Genjang	46
Gambar 4.16 Grafik Luas HAZ.....	48



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Semakin pesatnya kemajuan ilmu dan teknologi pada masa kini, membuat para pengguna teknologi dituntut untuk berpikir secara kritis terhadap perkembangan yang ada, dengan tanggung jawab. Perkembangan tersebut membuat semua manusia tidak lepas dari produk atau hasil teknologi untuk memperingan kerja manusia dalam memenuhi kebutuhan.

Pada saat ini terutama di dunia industri *Heat Exchanger* adalah salah satu alat penunjang yang peranya sangat penting dalam proses produksi. *Heat Exchanger* berfungsi sebagai media penukar kalor pada fluida yang bersuhu tinggi kepada fluida bersuhu rendah melalui dua bagian yang berbeda pada *heat Exchanger*.

Permasalahan yang sering dihadapi pada fabrikasi *Heat Exchanger* adalah seringnya terjadi kerusakan karena *pressure* yang berlebihan dan korosi atau *lifetime* yang mulai berkurang sehingga perlu diantisipasi dengan *repair* dan *maintenance*. Oleh karena itu, faktor desain perlu diperhatikan dan tidak bisa sembarangan dalam perhitungan desain.

Pada fabrikasi *Heat Exchanger* terdapat proses pengelasan. Proses pengelasan ini sangat perlu diperhatikan, karena hasil dari proses pengelasan itu sendiri berpengaruh pada sifat mekanis seperti ketangguhan, kekuatan, dan kekerasan material. *Preheat* atau masukan awal panas pada material sebelum dilakukan proses pengelasan berpengaruh sangat penting pada sifat material yang baik. Penentuan suhu *preheat* ditentukan oleh ketebalan dan *Carbon Equivalenya*. Pada *ASME Sec IX* hanya ditentukan suhu minimum *preheat* dan tidak ditentukan suhu *preheat* yang tepat dan pasti. Hal ini menjadikan dasar pemikiran dilakukannya penelitian pengaruh variasi *preheat* terhadap sifat mekanisnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka Tugas Akhir ini mempunyai rumusan masalah yang harus di selesaikan yaitu:

1. Bagaimana pengaruh variasi perlakuan *preheat* pada hasil pengelasan? (luas HAZ, Makro Etsa).
2. Bagaimana pengaruh variasi perlakuan *preheat* terhadap sifat mekanis material?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan permasalahan dalam penelitian yang akan dilakukan antara lain:

1. Variasi *preheat* yang dilakukan adalah Non *preheat*, *preheat* 150°C, *preheat* 200°C, *preheat* 250°C dan kampuh yang digunakan adalah single V groove 30°
2. Menggunakan proses SMAW dengan posisi 1G .
3. Material SA 516 Grade 70 dengan dimensi 300x150 mm dan tebal 16 mm dengan kawat E7016 dengan diameter 2.6 mm, dan E8018 dengan diameter 3.2 mm
4. Pengujian yang dilakukan adalah *Hardness Vickers*, *metalography (Makroetsa)*, *Impact* untuk HAZ dan Weld Metal.
5. Pengujian dilakukan pada bagian *Base Metal*, HAZ, dan *Weld Metal*.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dilakukanya penelitiannya ini adalah untuk:

1. Mengetahui variasi nilai kekerasan yang dihasilkan dari variasi Non *preheat*, *preheat* 150°C, *preheat* 200°C, *preheat* 250°C.
2. Mengetahui variasi nilai ketangguhan yang dihasilkan dari variasi Non *preheat*, *preheat* 150°C, *preheat* 200°C, *preheat* 250°C.
3. Mengetahui perbedaan struktur makro yang terjadi dari variasi Non *preheat*, *preheat* 150°C, *preheat* 200°C, *preheat* 250°C dilihat dari luasan HAZ nya.

BAB II

DASAR TEORI

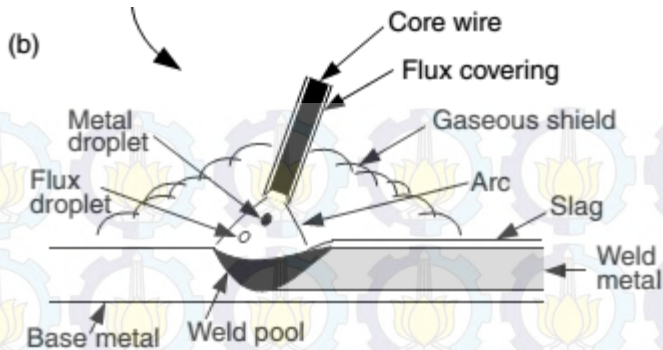
2.1 Definisi Pengelasan

Pengelasan (*Welding*) adalah salah satu teknik penyambungan logam dengan cara mencairkan sebagian logam induk dan logam pengisi dengan atau tanpa tekanan dan dengan atau tanpa tambahan logam lain. Dari definisi tersebut terdapat 3 kata kunci untuk menjelaskan definisi pengelasan yaitu mencairkan sebagian logam, logam pengisi, dan tekanan.

Proses penyambungan lain yang telah dikenal lama selain pengelasan adalah penyambungan dengan cara *Brazing* dan *Soldering*. Perbedaannya dengan pengelasan adalah tidak sampai mencairkan logam induk tetapi hanya logam pengisinya saja. Sedangkan perbedaan antara *Brazing* dan *Soldering* adalah pada titik cair logam pengisinya. Proses *Brazing* berkisar $450^{\circ}\text{C} - 900^{\circ}\text{C}$, sedangkan untuk *Soldering*, titik cair logam pengisinya kurang dari 450°C .

2.1.1 Shielded Metal Arc Welding (SMAW)

SMAW adalah proses las busur manual dimana panas dari pengelasan dihasilkan oleh busur listrik antara elektroda terumpan berpelindung *flux* dengan benda kerja. Bagian ujung elektroda, busur, cairan logam las dan daerah-daerah yang berdekatan dengan benda kerja, dilindungi dari pengaruh atmosfer oleh gas pelindung yang terbentuk dari hasil pembakaran lapisan pembungkus elektroda. Perlindungan tambahan untuk cairan logam las diberikan oleh cairan logam *flux* atau *slag* yang terbentuk. *Filler* metal atau logam tambahan disuplai oleh inti kawat elektroda terumpan atau pada elektroda elektroda tertentu juga berasal dari serbuk besi yang di campur dengan lapisan pembungkus elektroda. Gambar 2.1 memperlihatkan prinsip dasar proses SMAW.

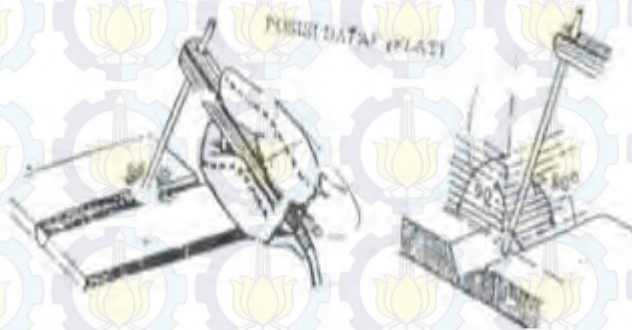


Gambar 2.1 Proses Pengelasan SMAW

2.1.2 Posisi Pada Pengelasan

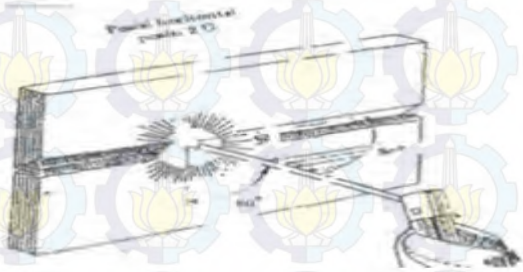
Posisi pada pengelasan atau sikap pengelasan adalah pengaturan Posisi dan gerakan arah dari pada elektroda sewaktu mengelas. Adapun posisi terdiri dari 4 macam yaitu:

- Posisi (1G)



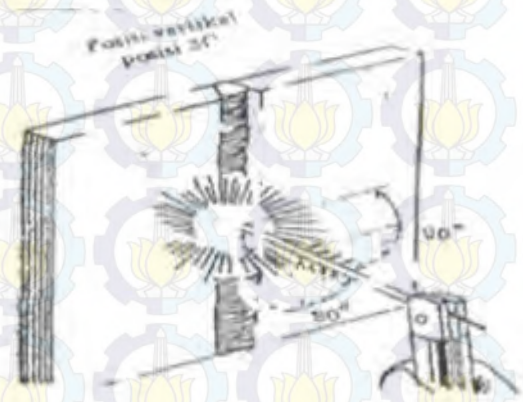
Gambar 2.2 Posisi pengelasan 1G

- Posisi (2G)



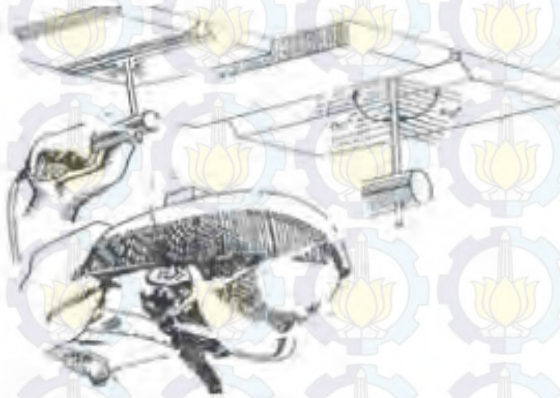
Gambar 2.3 Posisi pengelasan 2G

- Posisi (3G)



Gambar 2.4 Posisi pengelasan 3G

- Posisi (4G)



Gambar 2.5 Posisi pengelasan 4G

2.1.3 Heat Input

Heat Input adalah besarnya energi panas setiap satuan panjang las ketika sumber panas (yang berupa nyala api, busur listrik, plasma atau cahaya energi tinggi bergerak).

Masukan panas : $HI = EI/V \dots\dots\dots (2.1)$

Dimana: $HI = \text{masukan panas atau energi (J)}$

$I = \text{Arus (Ampere)}$

$E = \text{Voltase (Volt)}$

$V = \text{Jarak/Waktu (mm/s)}$

2.1.4 Kodefikasi Elektroda

Elektroda terdiri dari dua jenis bagian yaitu bagian yang bersalut (*fluks*) dan tidak bersalut yang merupakan pakal untuk menjepitkan tang las. Fungsi *fluks* atau lapisan elektroda dalam las adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan

udara menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur, sumber unsur paduan.

Bahan elektroda harus mempunyai kesamaan sifat dengan logam. Pemilihan elektroda harus benar-benar diperhatikan apabila kekuatan las diharuskan sama dengan kekuatan material. Penggolongan elektroda diatur berdasarkan standart sistem AWS (*American Welding Society*) dan ASTM (*American Society Testing Material*).

Adapun Kodefikasi dari elektroda sebagai berikut

Seperti : E XX X X

E : Menyatakan elektroda busur listrik.

XX : (dua angka) sesudah E menyatakan kekuatan tarik deposit las dalam lb/in.

X : (angka ketiga) menyatakan posisi pengelasan.

X : (angka keempat) menyatakan jenis selaput atau gas pelindung dan jenis arus yang cocok dipakai untuk pengelasan.

2.2 Material

Material yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah jenis material SA516 *grade 70* dimana material ini memiliki kandungan komposisi kimia dan sifat mekanik yaitu, ditunjukkan pada tabel 2.1- tabel 2.2.

Tabel 2.1 Nilai *Chemical Composition*

SA 516 GRADE 70						
Chemical Composition						
C	Mn	Ni	Mo	Si	Cr	V
0,45	1,009	0,04	0,04	0,25	0,01	0,036
Carbon Ekivalen 0,70%						

Tabel 2.2 Sifat Mekanik SA 516 grade 70

SA 516 grade 70	
Tensile Strengt	
YS (Newton/mm ²)	TS (Newton/mm ²)
486	544

2.3 Preheat

Definisi *preheat* menurut AWS (*American Welding Society*) adalah panas yang diberikan kepada logam yang akan dilas untuk mendapatkan dan memelihara *preheat temperature*. Sedangkan *preheat temperature* sendiri definisinya adalah suhu dari logam induk (*base metal*) di sekitar area yang akan dilas, sebelum pengelasan itu dimulai. Pada *multipass weld* definisi *preheat temperature* adalah suhu sesaat sebelum pengelasan pada celah selanjutnya dimulai. Pada *multipass weld* disebut juga sebagai *interpass temperature* (suhu antar pass (celah)). *Preheating* bisa dilakukan dengan menggunakan gas *burner*, *oxy-gas flame*, *electric blanket*, pemanasan induksi, atau pemanasan di *furnance*. Pemanasan disekitar area pengelasan diusahakan merata untuk hasil yang bagus. Pemanasan yang berlebihan atau tidak merata dapat menyebabkan tegangan sisa yang tinggi, distorsi, atau perubahan metalurgi yang tidak diinginkan pada logam induk.

Ketika *preheat* diperlakukan maka semua sambungan pengelasan harus dipanaskan sampai pada temperatur yang diinginkan (temperatur *preheat* bagian luar dan logam induk harus tercapai), jika memungkinkan panasi logam induk pada salah satu sisi dan ukur temperatur logam sisi berlawananya. Panas yang yang terjadi akan dihantarkan

dengan cara konduksi dan inspektor harus meyakinkan suhu sisi yang berlawanan tersebut. Informasi mengenai batasan *interpass temperature* harus disertakan dalam *wps*. Ketika *multipass weld* dilakukan maka deposit yang terjadi setelah pengelasan sebelumnya harus di inspect sebelum melakukan pengelasan lebih lanjut. Apabila suhu *interpass* terlalu tinggi dari yang telah ditetapkan dalam *WPS* maka pengelasan harus dihentikan dan *interpass* perlu didinginkan sampai diatas batasan *interpass* temperatur sebelum melanjutkan pengelasan.

Berdasarkan sifat metalurgi dan sifat mekanis yang diinginkan dari komponen pengelasan, *preheat* dan *interpass temperature* bisa dievaluasi untuk alasan yang berbeda. Prosedur (*WPS*)pengelasan untuk baja lunak yang mempunyai kadar karbon rendah, *hardenability* yang relatif rendah bisa saja dipertimbangkan untuk tidak dilakukan proses *preheat* dan *interpass temperature* tergantung dari ketebalan material. Prosedur (*WPS*)yang digunakan untuk pengelasan *heat-treatable low alloy steel* dan *chromium-molybdenum (cromoly)steel* akan memerlukan *preheat* dan *interpass temperature minimum* dan maksimum. Material *alloy* tersebut bisa mempunyai *hardenability* yang tinggi dan rentan terhadap *hydrogen cracking*. Apabila material tersebut didinginkan terlalu cepat atau terjadi *overheating* maka dapat mengakibatkan efek yang serius terhadap performance yang diinginkan.

2.3.1 Beberapa alasan *preheating* antara lain :

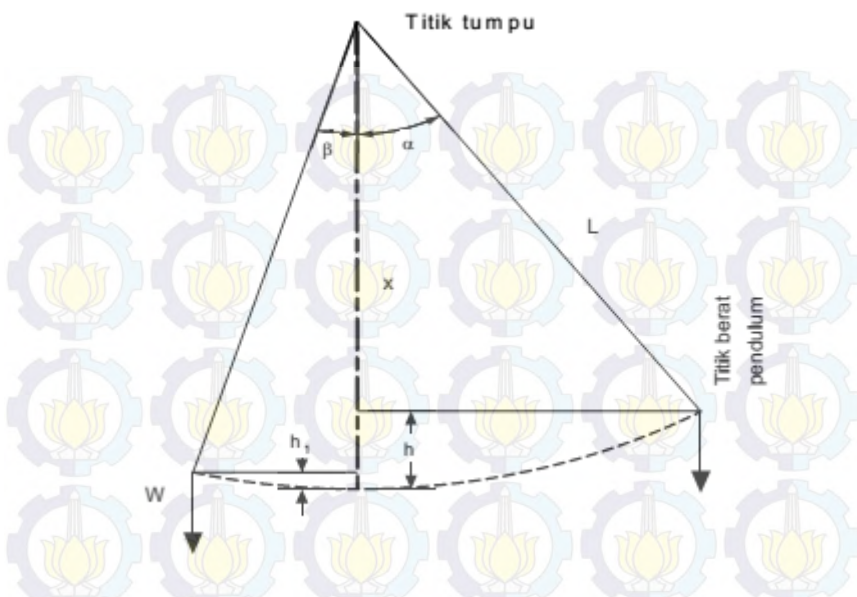
- Untuk mengurangi kelembabap dari area pengelasan. Biasanya dilakukan dengan cara memanaskan permukaan material dengan suhu yang relatif tidak terlalu tinggi, hanya sedikit diatas titik didih air. Hal tersebut akan mengeringkan permukaan dan menghilangkan kontaminan yang tidak diinginkan yang mungkin bisa menyebabkan cacat *porosity*, *hydrogen embrittlement*, atau *cracking* karena hydrogen selama proses pengelasan.

- Untuk menurunkan gradien temperatur. Semua pengelasan busur menggunakan sumberpanas temperatur tinggi. Pada material yang akan di las terjadi perbedaan temperatur antara sumber panas lokal dan material induk yang lebih dingin ketika pengelasan berlangsung. Perbedaan temperatur tersebut menyebabkan perbedaan pemuaian panas kontraksi serta tegangan yang tinggi disekitar area yang dilas. *Preheating* akan mengurangi perbedaan temperatur dari material induk sehingga akan meminimalkan masalah yang terjadi seperti distorsi dan tegangan sisa yang berlebihan. Apabila tidak dilakukan *preheating* maka bisa terjadi perbedaan temperatur yang besar antara area las-lasan dengan logam induk. Hal ini dapat menyebabkan pendinginan yang terlalu cepat sehingga menyebabkan terbentuknya martensit dan pada beberapa material dengan *hardenability* yang tinggi mungkin terjadi *cracking*.

2.4 Impact test

Pengujian ini berguna untuk melihat efek-efek yang ditimbulkan oleh adanya takikan, bentuk takikan, temperatur, dan faktor-faktor lainnya. Impact test bisa diartikan sebagai suatu tes yang mengukur kemampuan suatu bahan dalam menerima beban tumbuk yang diukur dengan besarnya energi yang diperlukan untuk mematahkan spesimen dengan ayunan sebagaimana ditunjukkan pada gambar dibawah ini, pada gambar 2.6

Bandul dengan ketinggian tertentu berayun dan memukul spesimen. Berkurangnya energi potensial dari bandul sebelum dan sesudah memukul benda uji merupakan energi yang diserap oleh spesimen.



Gambar 2.6 Skema Perhitungan Energi Impact

Besarnya energi impact (joule) dapat dilihat pada skala mesin penguji. Sedangkan besarnya energi impact dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$E_0 = W \cdot h \dots\dots\dots(1)$$

$$E_1 = W \cdot h_1 \dots\dots\dots(2)$$

$$\Delta E = E_0 - E_1$$

$$= W (h - h_1) \dots\dots(3)$$

dari gambar 2.6 didapatkan

$$h_0 = \ell - \ell \cos \alpha$$

$$= \ell (1 - \cos \alpha) \dots\dots(4)$$

$$h_1 = \ell - \ell \cos \beta$$

$$= \ell (1 - \cos \beta) \dots\dots(5)$$

dengan substitusi persamaan 4 dan 5 pada 3 di dapatkan :

$$\Delta E = W \ell (\cos \beta - \cos \alpha) \dots\dots\dots (6)$$

dimana:

E_0 = Energi awal (J)

$E1$ = Energi akhir (J)

W = Berat bandul (N)

h = Ketinggian bandul sebelum dilepas (m)

$h1$ = Ketinggian bandul setelah dilepas (m)

ℓ = panjang lengan bandul (m)

α = sudut awal (o)

β = sudut akhir (o)

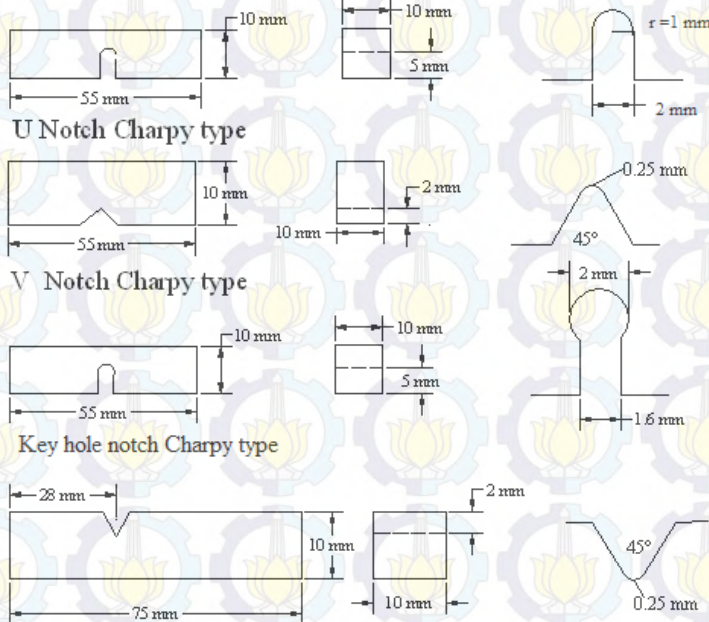
Untuk mengetahui kekuatan impact /impact strength (Is) maka energi impact tersebut harus dibagi dengan luas penampang efektif spesimen (A) sehingga :

$$Is = \Delta E / A$$

$$= W \ell (\cos \beta - \cos \alpha) / A \dots \dots \dots (7)$$

Pada suatu konstruksi, keberadaan takik atau notch memegang peranan yang amat berpengaruh terhadap kekuatan impact. Adanya takikan pada kerja yang salah seperti diskontinuitas pada pengelasan, atau korosi lokal bisa bersifat sebagai pemusat tegangan (stress concentration). Adanya pusat tegangan ini dapat menyebabkan material brittle (getas), sehingga patah pada beban di bawah yield strength.

Ada tiga macam bentuk takikan menurut standart ASTM pada pengujian impact yakni takikan type A (V), type B (key hole) dan type C (U) sebagaimana ditunjukkan pada gambar di bawah ini:



Cantilever beam IZOD Type

Gambar 2.7 Macam-macam Bentuk Takikan

2.4.1 Metodologi Pengujian *Impact*

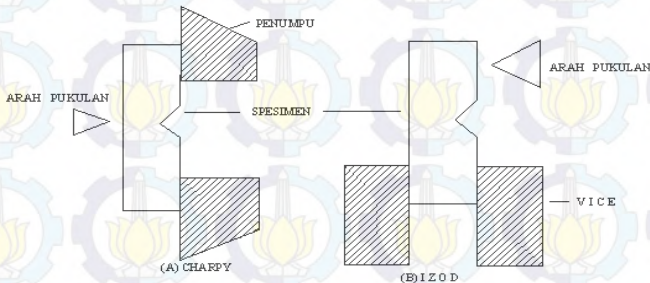
Metode pengujian impact dibedakan menjadi 2 macam yaitu Metode Charpy dan Metode Izod

a) Metode Charpy

Pada metode sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.8, spesimen diletakkan mendatar dan kedua ujung spesimen ditumpu pada suatu landasan. Letak takikan (notch) tepat ditengah dengan arah pemukulan dari belakang takikan. Biasanya metode ini digunakan di Amerika dan banyak negara yang lain termasuk Indonesia.

b) Metode izod

Pada metode ini sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.8, spesimen dijepit pada salah satu ujungnya dan diletakkan tegak. Arah pemukulan dari depan takikan. Biasanya metode ini digunakan di Negara Inggris.



Gambar 2.8 Metode Charpy dan Izod

2.5 Hardness Test

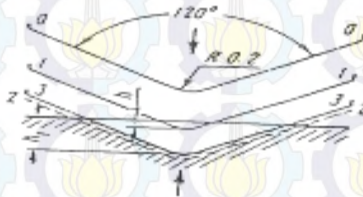
Kekerasan suatu bahan adalah kemampuan sebuah material untuk menerima beban tanpa mengalami deformasi plastis yaitu tahan terhadap identasi, tahan terhadap penggoresan, tahan terhadap aus, tahan terhadap pengikisan (abrasi). Kekerasan suatu bahan merupakan sifat mekanik yang paling penting, karena kekerasan dapat digunakan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik yang lain, yaitu strenght (kekuatan). Bahkan nilai kekuatan tarik yang dimiliki suatu material dapat dikonversi dari kekerasannya. Ada beberapa metode pengujian kekerasan yang digunakan untuk menguji kekerasan logam, yaitu :

1. Metode Pengujian Kekerasan Brinell
2. Metode Pengujian Kekerasan Vickers
3. Metode Pengujian Kekerasan Rockwell

Dari ketiga metode tersebut yang sering digunakan hanya dua saja, *Brinell* dan *vickers*, namun pada penelitian kali ini akan menggunakan, metode *Rockwell*.

2.5.1 Pengujian kekerasan *Rockwell*

Pada pengujian kekerasan rockwell, angka kekerasan yang di peroleh merupakan fungsi dari kedalaman indentasi pada specimen akibat pembebanan statis. Pada pengujian dengan metode rockwell dapat digunakan dua bentuk indendtor, yaitu berbentuk bola dari baja yang dikeraskan dengan berbagai diameter, dan bentuk kerucut dari intan (*diamond cone*). Beban yang diberikan pada saat indentasi disesuaikan dengan bentuk dan dimensi indendtor, seperti tercantum pada tabel 2.1. pengujian ini banyak dilakukan di industri karena pelaksanaanya lebih cepat, dimana angka kekerasan specimen uji dapat dibaca langsung pada mesin.



Gambar 2.9 Prinsip Kerja *Rockwell*

Keterangan :

0-0 Posisi sebelum indentasi

1-1 Penetrasi pada saat beban awal P1

2-2 Penetrasi pada pada saat beban penuh (P1+P)

3-3 Penetrasi setelah beban utam dilepas P1

Angka kekerasan Rockwell tidak bersatuan, tetapi dengan satu huruf depan seperti pada tabel 2.1 yang menyatakan kondisi pengujian. Angka skala pada mesin terdiri dari dua skala, yaitu merah dan hitam, berbeda 30 angka kekerasan. Skala Rockwell terbagi 100 divisi, dimana setiap divisi sebanding dengan kedalaman indentasi 0,002 mm. Angka kekerasan Rockwell B dan Rockwell C

dinyatakan sebagai kedalaman indentasi (h1) dapat ditulis sebagai berikut.

$$R_A = 130 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0,002}$$

$$R_C = 100 - \frac{\text{kedalaman indentasi (mm)}}{0,002}$$

Table 2.3 Skala Uji Kekerasan *Rockwell*

Skala	Penekan	Beban			Skala Kekerasan	Warna Angka
		Awal	Utama	Jumlah		
A	Kerucut intan 120°	10	50	60	100	Hitam
B	Bola baja 1,558 mm (1/16")	10	90	100	130	Merah
C	Kerucut intan 120°	10	140	150	100	Hitam
D	Kerucut intan 120°	10	90	100	100	Hitam
E	Bola baja 3,175 mm (1/8")	10	90	100	130	Merah
F	Bola baja 1,558 mm	10	50	60	130	Merah
G	Bola baja 1,558 mm	10	140	150	130	Merah
H	Bola baja 3,175 mm	10	50	60	130	Merah
K	Bola baja 3,175 mm	10	140	150	130	Merah
L	Bola baja 6,35 mm (1/4")	10	50	60	130	Merah
M	Bola baja 6,35 mm	10	90	100	130	Merah
P	Bola baja 6,35 mm	10	140	150	130	Merah
R	Bola baja 12,7 mm (1/2")	10	50	60	130	Merah
S	Bola baja 12,7 mm	10	90	100	130	Merah
V	Bola baja 12,7 mm	10	140	150	130	Merah

2.6 Metalography Test

Ilmu logam secara garis besar dibagi menjadi 2 yaitu metalurgi dan metalography.

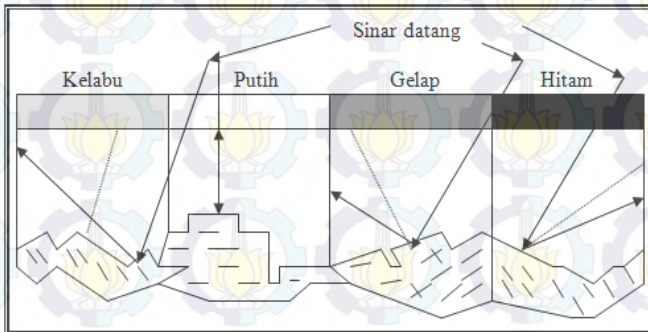
Metalurgi yaitu ilmu yang mempelajari tentang perpaduan logam dengan unsur-unsur tertentu seperti titanium, copper, yang bertujuan untuk memperkuat atau dan menambah ketangguhan logam, yang digunakan untuk berbagai kebutuhan khusus seperti engine blok piston dll.

Metalografi merupakan suatu metode untuk menyelidiki struktur logam dengan menggunakan mikroskop optis dan mikroskop electron dengan perbesaran 50 – 3000 kali.

Sedangkan struktur yang terlihat pada mikroskop tersebut tersebut disebut mikrostruktur. Pengamatan tersebut dilakukan terhadap spesimen yang telah diproses sehingga bisa diamati dengan pembesaran tertentu.

Pengujian metalography dibagi menjadi duajenis yaitu pengujian makro dan pengujian mikro

- **Pengujian makro**
Pengujian makro bertujuan untuk melihat secara visual atau kasat mata hasil dari pengelasan apakah terdapat cacat atau tidak, dengan dilakukan proses etsa terlebih dahulu
- **Pengujian mikro**
Pengujian mikro bertujuan untuk melihat butiran struktur kristal dari logam yang diuji dengan menggunakan mikroskop mulai perbesaran 50-3000 kali, sehingga dapat diketahui sifat, dan struktur dari logam tersebut.



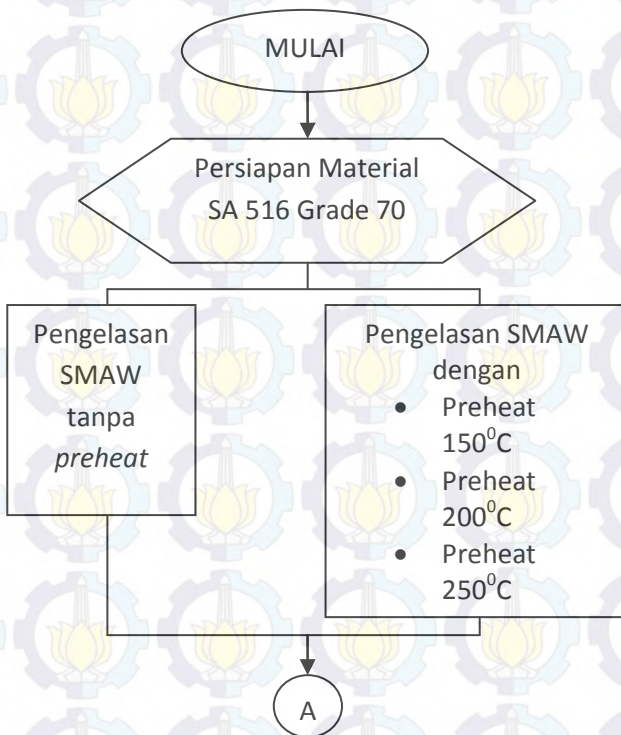
Gambar 2.10 Pantulan Sinar Pada *Metalograph Test*



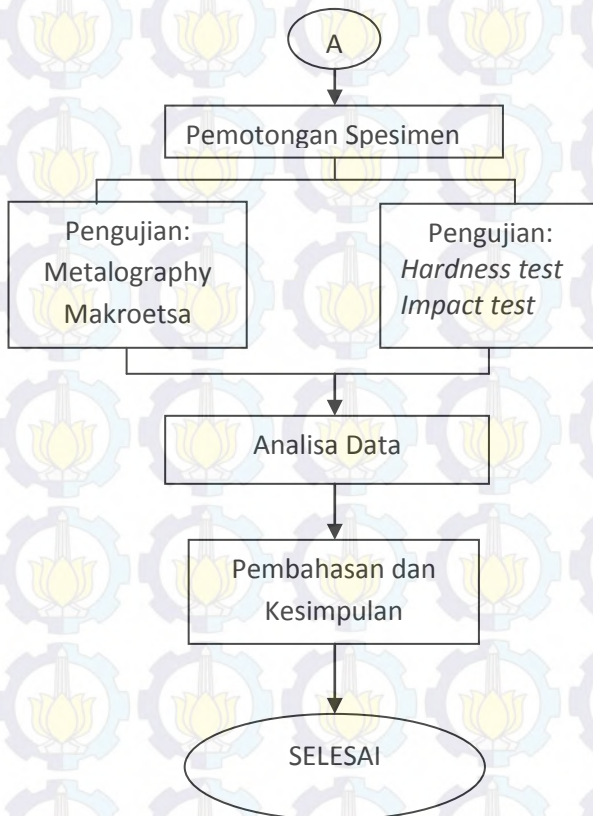
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 *Flow Chart* Penelitian

Pengerjaan dalam pembuatan tugas akhir ini sesuai dengan flow chart, bisa dilihat pada gambar 3.1 diagram di bawah ini.



Gambar 3.1 *Flow Chart* Diagram



Gambar 3.2 *Flow Chart* Diagram (Lanjutan)

3.2 Waktu Pelaksanaan Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada semester genap tahun ajaran 2014/2015 yaitu pada bulan Februari sampai dengan Juni 2015.

3.3 Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di lab uji bahan dan bengkel pengelasan d3 Teknik Mesin FTI-ITS

3.4 Langkah Kerja

Dalam menyelesaikan tugas akhir ini langkah pertama yang dilakukan adalah studi literatur tentang perlakuan panas yaitu Preheat, serta pengujiannya pada sifat mekanis dan ketangguhannya, langkah selanjutnya yaitu melakukan percobaan pada benda uji. Untuk memperjelas, berikut tahapan tahapan yang akan dilakukan.

3.4.1 Studi Literatur

Tahapan studi literatur adalah untuk mempelajari dan membahas teori-teori yang dibutuhkan untuk mengerjakan penelitian ini. Selain itu juga melakukan pengambilan data melalui buku dan internet.

3.4.2 Persiapan material

Material yang digunakan adalah *SA 516 Grade 70* dengan dimensi 400 mm x 200 mm dan tebal 16 mm. Material tersebut disambung dengan kampuh V menggunakan sudut 60° seperti gambar dibawah ini:



Gambar 3.3 Dimensi Material.



Gambar 3.4 Sudut Bevel Yang Digunakan.



Gambar 3.5 Material Dengan Kampuh 30°

3.4.3 Pengelasan

Pengelasan dilakukan menggunakan SMAW (DC+, DC-) posisi 1G dalam penelitian kali ini terdapat 4 variasi *preheat* yang berbeda yaitu

1. Tanpa Preheat.

Pengelasan dilakukan tanpa *preheat* atau menggunakan suhu ruang dan ketika pass pertama selesai, material didiamkan hingga suhu ruang kemudian dilanjutkan pengelasan berikutnya dan kemudian didiamkan kembali pada suhu ruang begitu seterusnya hingga *capping*.

2. *Preheat* 150°C

Pengelasan dilakukan dengan *preheat* 150°C, pemanasan menggunakan las asetelin, ketika suhu sudah mencapai 150°C maka pengelasan untuk layer pertama dapat dilakukan, untuk pengelasan layer kedua layer pertama harus dibersihkan dari kotoran atau kerak las, dan seterusnya untuk layer berikutnya.

3. *Preheat* 200°C

Pengelasan dilakukan dengan *preheat* 200°C, pemanasan menggunakan las asetelin, ketika suhu sudah mencapai 200°C maka pengelasan untuk layer pertama dapat dilakukan, untuk pengelasan layer kedua layer pertama harus dibersihkan dari kotoran atau kerak las, dan seterusnya untuk layer berikutnya.

4. *Preheat* 250°C

Pengelasan dilakukan dengan *preheat* 250°C, pemanasan menggunakan las asetelin, ketika suhu sudah mencapai 250°C maka pengelasan untuk layer pertama dapat dilakukan, untuk pengelasan layer kedua layer pertama harus dibersihkan dari kotoran atau kerak las, dan seterusnya untuk layer berikutnya.

Proses pengelasan dilakukan setelah dilakukannya *preheat* berikut ini parameter proses pengelasan yang dilakukan yang diwujudkan dalam bentuk tabel 3.1 sampai 3.2 beserta dokumentasinya:

Tabel 3.1 logam induk dan pengisi E 7016 dan E 8018

NAMA	KETERANGAN
Material Spesification	SA 516 gr 70
P-N0	1 group 2
Tebal	16 mm
Weld metal analysis A.no	*)
Spesification (SFA)	5.5
AWS Classification	E 7016 dan E 8018
Filler metal Dia, mm	2,6mm dan 3,2mm
Posisi pengelasan	1G

Tabel 3.2 Parameter Pengelasan

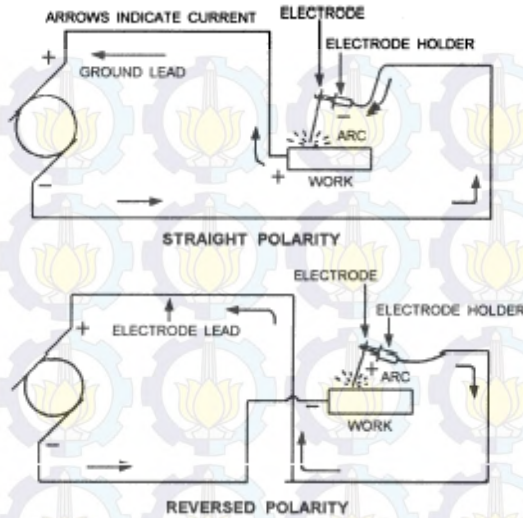
Parameter	Layer	
	1(Root)	2-5(fill & Caping)
Number/pass	SMAW	SMAW
Proses	1.5	1.3 - 0.97
Travel speed,mm/min	78 – 80	137 – 138
Amperage	24 – 27	24 – 27
Voltage	2.6	3.2
Electrode diameter,mm		

Tabel diatas merupakan parameter pengelasan saat dilakukanya proses pengelasan. Semua variasi suhu Preheat dilakukan proses pengelasan dengan prameter yang sama.

Terdapat dua polaritas pada pengelasan yaitu DCSP dan DCRP.

DCSP merupakan polaritas lurus dimana dengan cara ini pada saat pengelasan menghasilkan pencairan material dasar lebih banyak dibanding elektrodanya sehingga hasil las mempunyai penetrasi yang dalam.

DCRP merupakan polaritas balik, dengan cara ini pada saat proses pengelasan akan menghasilkan pencairan elektrode lebih banyak sehingga hasil las mempunyai penetrasi dangkal



Gambar 3.6 Polaritas lurus dan balik pada pengelasan SMAW



Gambar 3.7 Proses Preheat



Gambar 3.8 Proses Pengelasan



Gambar 3.9 Pengukuran Suhu Dengan Thermo gun

3.4.4 Persiapan benda uji

Spesimen yang diambil harus dari lokasi sampel, sehingga mereka mewakili bahan yang diuji, namun sampling harus sebagian besar sesuai dengan standart (AWS D1.1).

Dalam melakukan tes untuk mensimulasikan benda uji itu penting dan perlu diperhatikan ketebalannya, itu sehubungan dengan arah langkah kerja dari pengujian dan permukaanya, sehingga sesuai dengan aplikasinya.

3.4.5 Pengambilan Test Piece

Untuk pengambilan spesimen, dilakukan dengan memperhitungkan jumlah pengujian yang akan digunakan. Dalam penelitian ini pengujian yang dilakukan adalah kekerasan (*Hardness*), ketangguhan (*Impact*), dan *Metalography*(*Makro Etsa*)

1. Pengujian Kekerasan.

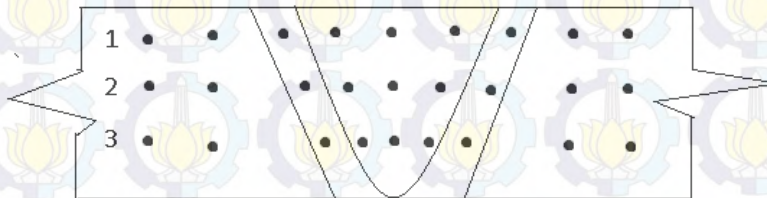
Dalam pengujian kekerasan, jumlah spesimen yang diuji adalah 4 masing masing spesimen diambil 28 titik yaitu, 11 *weld metal*, 6 *HAZ*, dan 12 *base metal*



Gambar 3.10 Alat Uji Kekerasan Rockwell

Merk : AFFRI Seri 206.RT – 206.RTS
Loading : Maximum 150 KP

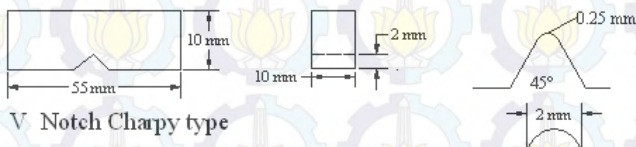
Minimum 60 KP
Hrc Load : 150 KP
Indentor : Kerucut intan 120°
Hrb Load : 100 KP
Indentor : Kerucut Intan 120 °



Gambar 3.11 Lokasi Indentasi Uji Kekerasan.

2. Pengujian Impak

Untuk pengujian ketangguhan atau impact test dilakukan pengambilan spesimen total 24 spesimen yang akan diuji masing-masing variasi berjumlah 6 spesimen yaitu *HAZ* berjumlah 2, *Weld metal* berjumlah 2, dan *Base Metal* berjumlah 2. Metode yang digunakan yaitu *Charpy*, untuk dimensi spesimen disesuaikan dengan *ASTM* untuk pengujian *impact*.



Gambar 3.12 Dimensi Specimen *Impact*

Langkah-langkah pengujian *Impact*

1. Menyiapkan specimen

- Ambil spesimen dan jepit pada ragam
- Bersihkan bekas-bekas machining dengan kikir
- Lakukan langkah diatas untuk seluruh specimen

2. Pengukuran dimensi

- Ambil spesimen ukur dimensinya
- Catat dan beri kode untuk masing -masing specimen.
- Lakukan langkah diatas untuk seluruh specimen

3. Pengujian pada spesimen.

- Mencatat data mesin pada benda kerja.
- Penempatan bandul pada posisi awal.
- Atur jarum penunjuk pada posisi 0.
- Ambil specimen dan letakkan pada tempatnya.
- Ambil pengunci bandul supaya bandul berjalan
- Amati datanya dan catat.
- Ulangi langkah diatas unruk seluruh specimen.

3. Makro etsa

Untuk proses Metalography test dibagi menjadi 2 yaitu pengamatan makro test dan Mikro tes, namun pada penelitian ini hanya proses makro test saja.

- Makro test
Bertujuan melihat secara visual hasil dari proses pengelasan setelah dilakukan pengetsaan, proses pengetsaan yaitu cairan $\text{HCL} + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$., maka bagian Weld Metal, HAZ, dan Base metal akan terlihat.

Berikut alat dan bahan yang digunakan untuk pengetsaan bendu uji (*Test Piece*) :



Gambar 3.13 Alat dan bahan untuk proses etsa



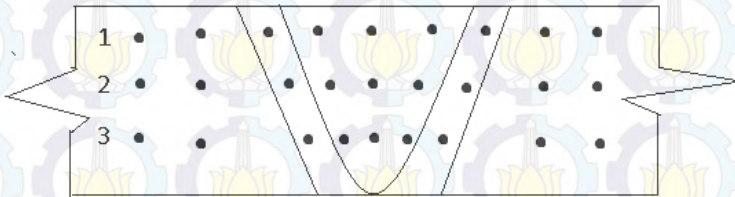
Gambar 3.14 Larutan Etsa ($\text{HCL} + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$)

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan dijelaskan bagaimana pengaruh perbedaan variasi suhu *preheat* terhadap sifat mekanik material SA 516 gr 70, melalui tiga pengujian yaitu uji kekerasan, uji impact dan makroetsa.

4.1 Uji Kekerasan *Hardness Rockwell*

Pada pengujian kekerasan masing masing dilakukan pada 27 titik diantaranya 9 titik *weld metal*, 6 titik *HAZ*, dan 12 titik *Base metal* untuk seluruh spesimen. Lokasi indentasi hardness dapat dilihat pada Gambar 4.2 dibawah ini



Gambar 4.1 Lokasi indentasi

Untuk lebih jelasnya pada setiap material yang dilakukan variasi *preheat* akan di tampilkan *test piece* yang telah dilakukan uji kekerasan *rockwell (HRB)*, sebagai berikut.



Gambar 4.2 Lokasi indentasi

Dari proses pengujian kekerasan didapatkan hasil dari pengujian kekerasan, dalam pengujian kekerasan ini sampel uji yang diambil harus banyak karena perbedaan dari satu tempat ketempat lainnya supaya bisa terpantau dengan baik, apakah terdapat data uji kekerasan yang patut di curigai atau tidak, bila hasil uji mengalami perbedaan yang mencolok benda uji tersebut patut dicurigai apakah terdapat cacat atau tidak pada saat identasi dilakukan.

Utuk mengetahui hasil dari uji kekerasan, akan ditampilkan tabel dan grafik hasil dari pengujian kekerasan benda kerja sebagai berikut:

Tabel 4.1 Data Hasil Uji Kekerasan

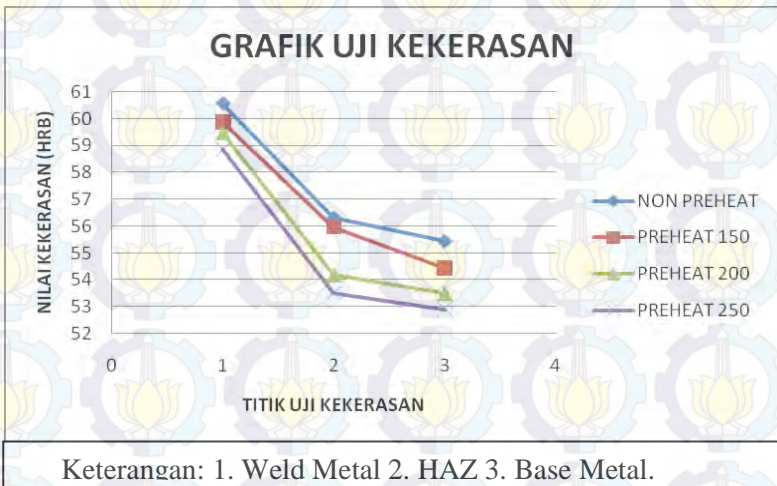
Preheat	line	WELD METAL				HAZ			BASE METAL					
Non Preheat	1	58	65.5	61.5	61.667	55	56.2	55.6	56	58	54	56.5	56.125	
	2	60.5	61.2	60	60.56	56	55	55.5	55.5	57.5	56.7	56.2	56.475	
	3	60.1	59	59.5	59.53	55	55.5	55.25	54.5	57	57	56.9	56.35	
rata-rata					60.58			55.45					56.3	
Preheat 150	1	63.9	55.6	62.5	60.66	53.5	51	52.25	56	56	57.6	57.9	56.8	
	2	56	59.7	61.4	59.03	56.5	57.5	57	54	55.8	54.5	56	55.075	
	3	59	60.9		59.95	54.6	53.5	54.05	56.5	54.5	56	57	56	
rata-rata					59.88			54.43					55.96	
Preheat 200	1	60	61	61	60.66	55.1	47.1	51.1	57	58.2	56	56	56.8	
	2	58.5	59	59.5	59	53.9	59.9	56.7	51.5	52.5	54.5	53.5	53	
	3	57	59	55	57	54.5	51	52.75	54.5	54.5	50	53	52.975	
rata-rata					58.88			53.51					54.2	
preheat 250	1	63.9	55.6	62.5	60.66	55	59	57	36.6	52.5	52.5	54	48.9	
	2	56	59.7	61.4	59.03	53.5	48	50.75	49	58.9	52	51.4	52.82	
	3	59	60.9		59.95	50	52	51	57	59.5	54.5	56.4	56.85	
rata-rata					59.88			52.91					52.85	

Data diatas merupakan data primer dari hasil uji kekerasan yang selanjutnya akan dibuat tabel dari rata-rata uji kekerasan untuk membuat grafik uji kekerasan agar, perbedaan nilai dari uji kekerasan dapat dibaca dengan baik. Berikut tabel nilai dari rata-rata uji kekerasan

Tabel 4.2 Nilai Kekerasan Rata-rata

Nilai Kekerasan (HRB)				
Titik identasi	Non Preheat	Preheat 150 ⁰ C	Preheat 2000 ⁰ C	Preheat 250 ⁰ C
WM	60,56	59,88	59,49	58,88
HAZ	56,3	55,96	54,2	53,51
BM	55,43	54,43	53,51	52,91

Ket : BM = Base Metal, WM = Weld Metal, HAZ = Heat Affected Zone



Gambar 4.3 Grafik Uji Kekerasan

Dari grafik uji kekerasan yang ditampilkan, dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai kekerasan rata-rata yang paling tinggi untuk semua perlakuan proses Preheat terdapat pada daerah Weld Metal, dan nilai rata-rata kekerasan yang paling rendah terdapat pada daerah Base Metal.

Hal ini disebabkan karena laju pendinginannya relatif lebih rendah bila dilakukan proses *preheat*

Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai kekerasan yang paling terdapat pada benda uji yang dilakukan perlakuan Non Preheat dan nilai kekerasan akan terus menurun pada benda uji yang dilakukan proses perlakuan Preheat.

4.2 Analisa Pengujian *Impact test*

Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk melihat ketangguhan dari Material akibat Proses pengelasan dengan perbedaan parameter dari temperatur Preheat. Pada pengujian ini takikan berada pada 3 tempat berbeda yaitu *Weld metal*, *HAZ* dan, *Base metal*. Adapun Gambar dimensi Dari spesimen uji impact dapat dilihat pada Gambar 4.5 dibawah ini.

Energi impact dapat diketahui dengan menggunakan rumus berikut sebagai perhitungannya.

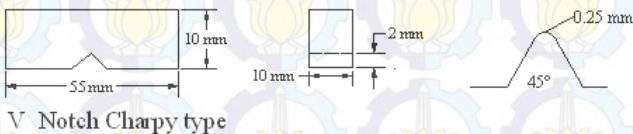
$$IS = \frac{W \ell (\cos \beta - \cos \alpha)}{A}$$

ℓ = panjang lengan bandul (m)

α = sudut awal ($^{\circ}$)

β = sudut akhir ($^{\circ}$)

w = Berat bandul (N)



Gambar 4.4 Bentuk Takikan

Adapun hasil yang diperoleh dari pengujian impact pada tabel 4.7 Sampai 4.10 sebagai berikut:

Tabel 4.3 Data Pengujian *Impact* Tanpa Preheat

No	Specimen Stamp	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Thick at Notch (mm)	Angle β ($^{\circ}$)	Impact Strength (J/mm ²)
1	BM	55	10,1	10	8,2	3	0,322586
2	BM	55	10	10	8	3	0,340901
3	HAZ	55	10	10	8	3	0,340901
4	HAZ	55	10	10	8	3,25	0,340856
5	WM	55	10,2	10	8	4	0,340696
6	WM	55	10,5	10	8	4	0,340696
Ket : BM = Base Metal, WM = Weld Metal, HAZ = Heat Affected Zone							

Tabel 4.4 Data Pengujian *Impact* Preheat 150°C

No	Specimen Stamp	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Thick at Notch (mm)	Angle β (°)	Impact Strength (J/mm ²)
1	BM	55	10,1	10,1	8	2,8	0,340936
2	BM	55	10	10	8	3,2	0,340847
3	HAZ	55	10,5	10,5	8	3	0,340901
4	HAZ	55	10,2	10	8	3	0,340901
5	WM	55	10,4	10,4	8	3,5	0,340806
6	WM	55	10,5	10,5	8	3,5	0,340806
Ket : BM = Base Metal, WM = Weld Metal, HAZ = Heat Affected Zone							

Tabel 4.5 Data Pengujian *Impact* Preheat 200°C

No	Specimen Stamp	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Thick at Notch (mm)	Angle β (°)	Impact Strength (J/mm ²)
1	BM	55	10,1	10,1	8	2,8	0,340936
2	BM	55	10	10	8	3	0,340901
3	HAZ	55	10,2	10	8	3	0,340901
4	HAZ	55	10,2	10,2	8	3	0,340901
5	WM	55	10,4	10,2	8	3,5	0,340806
6	WM	55	10,5	10,4	8	3,5	0,340812
Ket : BM = Base Metal, WM = Weld Metal, HAZ = Heat Affected Zone							

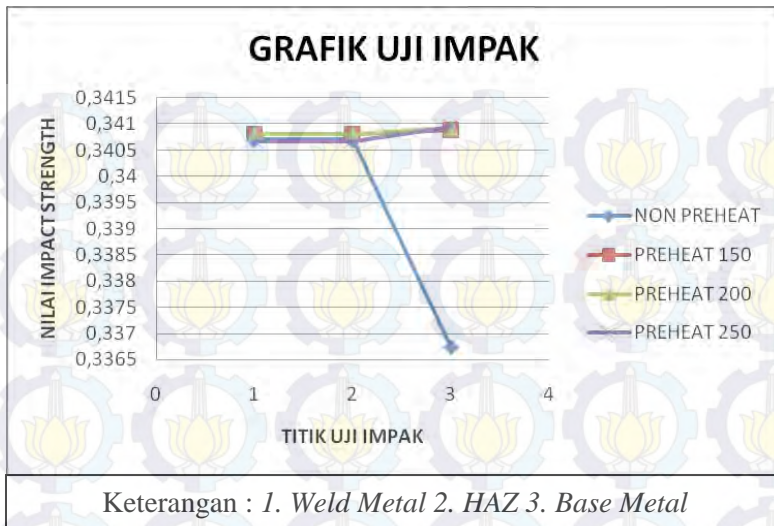
Tabel 4.6 Data Pengujian Impact Preheat 250°C

No	Specimen Stamp	Panjang (mm)	Lebar (mm)	Tinggi (mm)	Thick at Notch (mm)	Angle b (°)	Impact Strength (N/mm ²)
1	BM	55	10,1	10,1	8	2,8	0,340936
2	BM	55	10	10	8	2,8	0,340836
3	HAZ	55	10,5	10,5	8	3	0,340901
4	HAZ	55	10,2	10,2	8	3,3	0,340847
5	WM	55	10,4	10,4	8	4,2	0,340648
6	WM	55	10,4	10,4	8	4	0,340696
Ket : BM = Base Metal, WM = Weld Metal, HAZ = Heat Affected Zone							

Data diatas merupakan data primer dari hasil uji impact yang selanjutnya akan dibuat tabel dari rata-rata uji impact untuk membuat grafik uji impact, agar perbedaan nilai dari uji impact dapat dibaca dengan baik. Berikut tabel nilai dari rata-rata uji impact.

Tabel 4.7 Nilai Rata-rata uji *Impact*

Titik Uji Impact	Non Preheat	Preheat 150	Preheat 200	Preheat 250
BM	0,3367435	0,340892	0,340919	0,340936
HAZ	0,340696	0,340806	0,340809	0,340672
WM	0,340696	0,340806	0,340809	0,340672
Ket : BM = <i>Base Metal</i> , WM = <i>Weld Metal</i> , HAZ =, <i>Heat Affected Zone</i> . Sudut				



Gambar 4.5 Grafik Uji Impact

Dari data grafik yang ditampilkan Dapat diambil Kesimpulan:

Nilai *Impact Strength* rata-rata untuk seluruh benda uji yang paling tinggi terdapat pada bagian *Base Metal* namun pada salah satu benda uji diketahui nilai *Impact Strength* paling rendah pada bagian *Non Preheat* karena Luas penampang Lebih besar diantara yang lainnya , dan rata-rata nilai *Impact Strength* yang paling rendah terdapat pada bagian *Weld Metal*.

Untuk nilai *Impact Strength* yang paling tinggi terdapat pada benda uji yang dilakukan proses Preheat 250⁰C pada bagian Base Metal dan nilai *Impact Strengt* yang terendah terdapat pada benda uji yang dilakukan proses *non Preheat* pada bagian *Base metal*.

Maka dapat ditarik kesimpulan semakin tinggi suhu Preheat maka nilai *Impact Strength* akan semakin tinggi dan sebaliknya bila semakin rendah sampai tidak dilakukan preheat maka nilai *Impact Strength* akan semakin rendah.

4.3 Analisa Pengujian *Metalography*

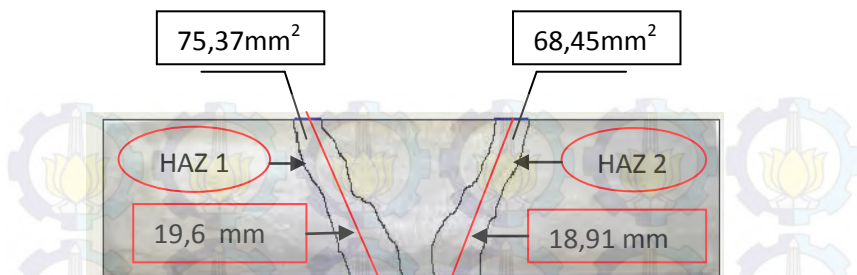
Pengujian metalography yang dilakukan yaitu makro test, Makro test dilakukan setelah material dilakukan proses pengetsaan yang menggunakan larutan $\text{HCL} + \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ dengan perbandingan 2:1:1, pengujian makro bertujuan untuk melihat secara visual hasil dari las meliputi base metal, HAZ, dan weld metal. Bagaimana luas dari HAZ, apakah terjadi perbedaan luasan HAZ antar variasi Preheat yang dilakukan.

4.3.1 Pengujian Makro

Hasil dari pengujian makro ditampilkan pada gambar berikut:



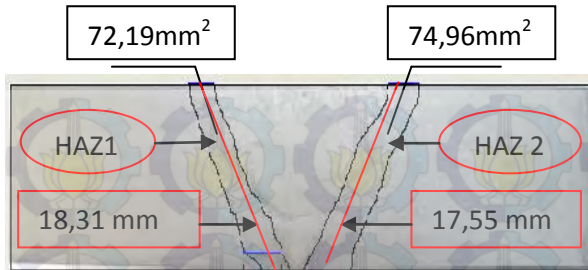
Gambar 4.6 Non Preheat



Gambar 4.7 Dimensi *Non Preheat*



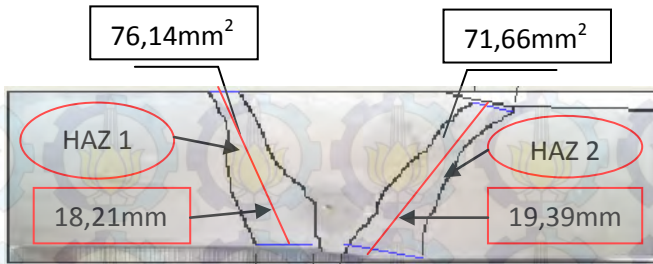
Gambar 4.8 Preheat 150°C



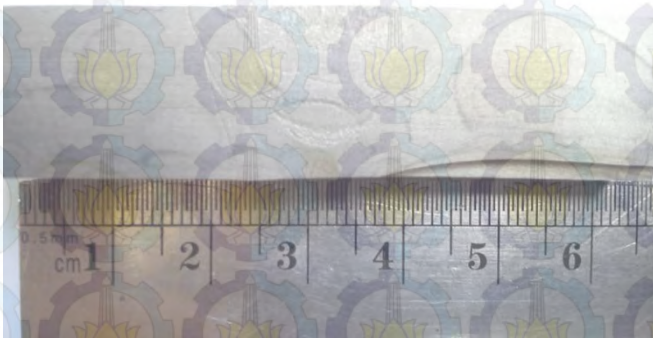
Gambar 4.9 Dimensi *Preheat 150°C*



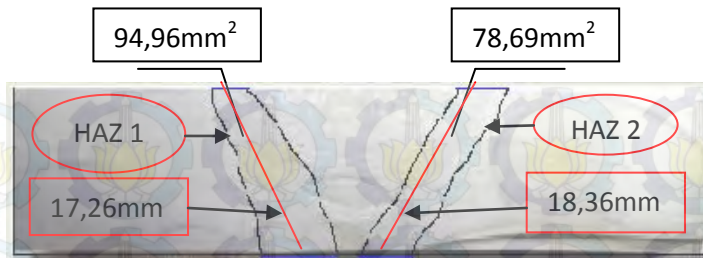
Gambar 4.10 *Preheat 200°C*



Gambar 4.11 Dimensi *Preheat 200°C*



Gambar 4.12 *Preheat 250°C*



Gambar 4.13 Dimensi *Preheat* 250⁰C

Untuk mempermudah membandingkan data dari lebar HAZ maka data akan diolah terlebih dahulu melalui rumus berikut.

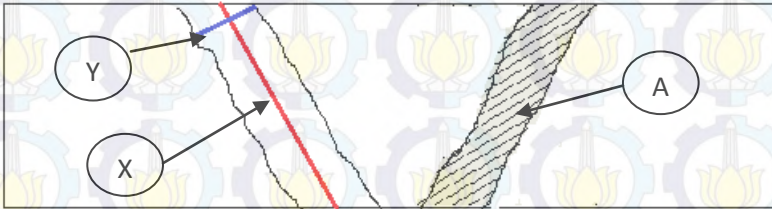
$$\frac{1}{T_p - T_0} = \frac{4,13 \cdot \rho C \cdot t \cdot y}{H_{net}} + \frac{1}{T_m - T_0}$$

Keterangan:

- H_{net} = $H_{input} \times f$ (efisiensi perpindahan kalor)
- T_0 = Temperatur awal pengelasan
- T_p = Temperatur batas Haz dan Base Metal
- T_m = Temperatur Melting
- ρC = 0,0044 J/mm³.°C
- t = tebal plat
- y = Lebar HAZ

Dari rumus ini maka akan diketahui pengaruh dari suhu preheat terhadap lebar dari HAZ karena suhu awal (T_0) maka semakin besar suhu preheat maka lebar dari HAZ akan semakin Lebar. Namun dengan catatan variabel dari rumus sama pada seluruh variasi Preheat yang berubah hanya T_0 nya saja

Maka untuk mengetahui lebar dari masing-masing HAZ dilakukan permisalan yang akan dijelaskan pada gambar berikut.



Gambar 4.14 Keterangan Garis

Keterangan :

A = Luas HAZ (daerah yang diarsir)

X = Panjang Acuan HAZ (garis warna merah)

Y = Lebar rata-rata HAZ (garis biru)

Untuk mengetahui lebar dari HAZ, Luasan dari Haz harus dicari terlebih dahulu lalu dimasukan rumus jajar genjang sebagai acuan untuk menghitung dari lebar HAZ.



Gambar 4.15 Jajar genjang

Luas = Panjang X Tinggi

x = panjang

y = tinggi

Maka ketika luas dari HAZ sudah diketahui, maka acuan dari panjang bidang harus diketahui untuk mencari lebar dari keseluruhan HAZ dalam satu bidang.

$$\text{Maka : } y = \frac{\text{Luas}}{x}$$

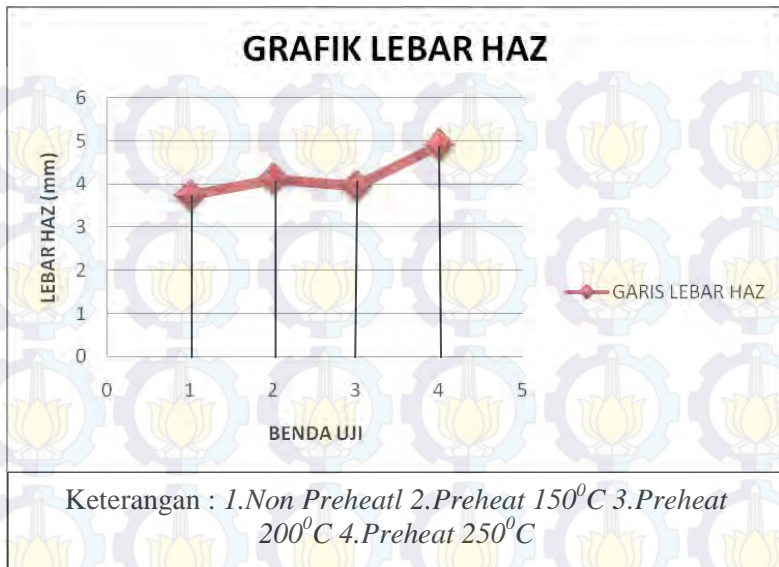
Untuk lebih jelasnya akan ditampilkan hasil dari lebar rata rata keseluruhan dari HAZ dalam tabel berikut ini beserta grafiknya.

Tabel 4.8 Lebar HAZ

TEST PIECE	HAZ					
	HAZ 1			HAZ 2		
	A (mm ²)	X (mm)	Y (mm)	A (mm ²)	X (mm)	Y (mm)
Non preheat	75,37	19,6	3,84540	68,45	18,91	3,61977
Preheat 150 ⁰ C	72,19	18,31	3,94265	74,96	17,55	4,27122
Preheat 200 ⁰ C	76,14	18,21	4,18121	71,66	19,39	3,69571
Preheat 250 ⁰ C	94,96	17,26	5,50173	78,69	18,36	4,28594
Keterangan : A (Luas HAZ), X(Panjang Acuan HAZ), Y(Lebar rata-rata HAZ pada satu bidang)						

Tabel 4.9 Lebar rata-rata HAZ

TEST PIECE	Lebar HAZ 1 (mm)	Lebar HAZ 2 (mm)	Lebar Rata- rata HAZ (mm)
Non preheat	3,84540	3,61977	3,732593
Preheat 150 ⁰ C	3,94265	4,27122	4,10694
Preheat 200 ⁰ C	4,18121	3,69571	3,938469
Preheat 250 ⁰ C	5,50173	4,28594	4,893843



Gambar 4.16 Grafik Luas HAZ

Lebar dari HAZ tergantung dari beberapa faktor salah satunya *Heat Input* dan temperatur awal pengelasan, dari pengelasan yang dilakukan pada penelitian ini terdapat variasi temperatur *Preheat*. Temperatur preheat inilah yang mempengaruhi dari lebar HAZ. Lebar HAZ ini juga berpengaruh terhadap Luasan dari HAZ semakin lebar HAZ maka lebar HAZ semakin lebar

Maka dari data yang ditampilkan oleh tabel dapat diambil kesimpulan bahwa lebar dari HAZ juga di pengaruhi oleh temperatur Preheat.

Benda uji yang dilakukan proses Preheat dengan suhu paling tinggi akan membuat luas HAZ semakin luas, sedangkan benda uji yang tidak dilakukan proses preheat lebarnya cenderung lebih kecil.

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa data mengenai pengaruh preheat dengan masing masing temperatur dikenai 0°C , 150°C , 200°C , dan 250°C terhadap perubahan kekerasan dan ketangguhan pada pengelasan material SA 516 gr 70, dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil pengujian *Hardness* menunjukan bahwa untuk material yang di *preheat* 250°C memiliki nilai kekerasan yang paling rendah pada daerah *Base Metal*, sedangkan yang tidak dilakukan preheat memiliki nilai kekerasan yang paling tinggi pada daerah *Weld Metal*. Untuk rata-rata nilai kekerasan dari seluruh test piece yang tertinggi terdapat pada daerah Weld Metal dan yang paling rendah terdapat pada daerah Base Metal.
2. Hasil pengujian impak menunjukan bahwa untuk material yang di *preheat* 250°C memiliki nilai Impact Strengt yang paling tinggi, sedangkan yang tidak dilakukan *preheat* memiliki nilai *Impact Strengt* yang paling rendah. Untuk rata-rata nilai energi impak dari seluruh test piece yang tertinggi terdapat pada daerah *Weld Metal* dan yang paling rendah terdapat pada daerah *Base Metal*.
3. Pada hasil makro etsa didapatkan bahwa *HAZ* dengan luasan yang paling tinggi terdapat pada daerah yang dilakukan preheat 250°C sedangkan yang paling rendah terdapat pada daerah yang tidak dilakukan preheat.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat dilakukan untu penelitian lebih lanjut:

1. Pada penelitian kali ini pengujian yang dilakukan hanya sebatas mengetahui nilai kekerasan dan ketangguhan dari material, untuk selanjutnya bisa dilakukan dengan pengujian *Tensile Test* dan *Bend Test*.
2. Pada penelitian ini suhu antar pass atau layer tidak terkontrol, pada penelitian selanjutnya pengontrolan suhu antar pass atau layer dapat dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

1. American_Society_of_Mechanical_Engineers Section II, 2010, *Ferrous_Material_Specifications*.
2. ANSI/AWS A3.0-89 *Standard Welding Term and Definition*, American Welding Society.
3. Wiryosumarto H., Okumara T., *Teknologi Pengelasan Logam*, Cetakan Ketujuh, PT Pradnya Paramita, Jakarta, 1996
4. <http://nizammetallurgist.blogspot.com/2014/04/contoh-soal-hitungan-pengelasanwelding.html>
5. Prasajo Budi, ST, MT, 2002, Petunjuk Praktikum Uji Bahan, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
6. ASME. 2010. Adendum 2011. ASME Sec II C *Specification of welding rods*,
7. ASME SECTION IX, 2013 , *Welding, Brazing, and Fusing Qualification* , New York.

Lampiran 1
Tabel : P number material

P-No.	Grp. No.	Spec. No.	Type, Grade, or UNS No.	P-No.	Grp. No.	Spec. No.	Type, Grade, or UNS No.
Steel and Steel Alloys (Cont'd)				Steel and Steel Alloys (Cont'd)			
1	2	A/SA-234	WPC	1	2	A/SA-691	CMS-75
1	2	A/SA-266	2	1	2	A/SA-691	CMSH-70
1	2	A/SA-266	3	1	2	A694	F56
1	2	A/SA-266	4	1	2	A694	F60
1	2	A/SA-299	A	1	2	A694	F65
1	2	A/SA-350	LF2	1	2	A/SA-696	C
1	2	A/SA-352	LCC	1	2	A707	I.2, Cl. 3
1	2	A356	1	1	2	A707	I.3, Cl. 3
1	2	A/SA-372	B	1	2	A/SA-737	B
1	2	A381	Y52	1	2	A/SA-738	A
1	2	A381	Y56	1	2	A/SA-765	II
1	2	A381	Y60	1	2	API 5L	X56 (all grades)
1	2	A/SA-414	F	1	2	API 5L	X60 (all grades)
1	2	A/SA-414	G	1	2	API 5L	X65 (all grades)
1	2	A/SA-455	—	1	2	MSS SP-75	WPHY-56
1	2	A/SA-487	Gr. 16, Cl. A	1	2	MSS SP-75	WPHY-60
1	2	A501	B	1	2	MSS SP-75	WPHY-65
1	2	A/SA-508	1	1	2	SA/AS 1548	PT490
1	2	A/SA-508	1A	1	2	SA/EN 10029-2	P355GH
1	2	A513	1020 CW	1	2	SA/EN 10222-2	P305GH
1	2	A513	1025 CW	1	2	SA/GB 713	Q345R
1	2	A/SA-515	70	1	2	SA/GB 713	Q370R
1	2	A/SA-516	70	1	2	SA/JIS G3118	SGV480
				1	2	A/SA-841	A, Cl. 1

Lampiran 2

Tabel : temperatur minimal *preheat*

Table UCS-56-1 Postweld Heat Treatment Requirements for Carbon and Low Alloy Steels — P-No. 1				
Material	Normal Holding Temperature, °F (°C), Minimum	Minimum Holding Time at Normal Temperature for Nominal Thickness (See UW 50(3))		
		Up to 2 in. (50 mm)	Over 2 in. to 5 in. (50 mm to 125 mm)	Over 5 in. (125 mm)
P No. 1 Gr. Nos. 1, 2, 3	1,100 (595)	1 hr/1 in. (25 mm), 15 min minimum	2 hr plus 15 min for each additional inch (25 mm) over 2 in. (50 mm)	2 hr plus 15 min for each additional inch (25 mm) over 2 in. (50 mm)
Gr. No. 4	N/A	None	None	None

GENERAL NOTES:

(a) When it is impractical to postweld heat treat at the temperature specified in this Table, it is permissible to carry out the postweld heat treatment at lower temperatures for longer periods of time in accordance with Table UCS 56.1.

(b) Postweld heat treatment is mandatory under the following conditions:

(1) for welded joints over $1\frac{1}{2}$ in. (38 mm) nominal thickness;

(2) for welded joints over $1\frac{1}{8}$ in. (32 mm) nominal thickness through $1\frac{1}{2}$ in. (38 mm) nominal thickness unless preheat is applied at a minimum temperature of 200°F (95°C) during welding. This preheat need not be applied to SA B41 Grades A and B, provided that the carbon content and carbon equivalent (CE) for the plate material, by heat analysis, do not exceed 0.14% and 0.40%, respectively, where

$$C.E. = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Ni + V}{5} + \frac{(Cu + Nb)}{15}$$

(3) for welded joints of all thicknesses if required by UW 2, except postweld heat treatment is not mandatory under the conditions specified below:

(a) for groove welds not over $\frac{1}{2}$ in. (13 mm) size and fillet welds with a throat not over $\frac{1}{2}$ in. (13 mm) that attach nozzle (no sections that have a finished inside diameter not greater than 2 in. (50 mm), provided the connections do not form ligaments that require an increase in shell or head thickness, and preheat to a minimum temperature of 200°F (95°C) is applied;

(b) for groove welds not over $\frac{1}{2}$ in. (13 mm) in size or fillet welds with a throat thickness of $\frac{1}{8}$ in. (13 mm) or less that attach tubes to a tube-sheet when the tube diameter does not exceed 2 in. (50 mm). A preheat of 200°F (95°C) minimum must be applied when the carbon content of the tube-sheet exceeds 0.22%;

(c) for groove welds not over $\frac{1}{2}$ in. (13 mm) in size or fillet welds with a throat thickness of $\frac{1}{2}$ in. (13 mm) or less used for attaching nonpressure parts to pressure parts provided preheat to a minimum temperature of 200°F (95°C) is applied when the thickness of the pressure part exceeds $1\frac{1}{8}$ in. (32 mm);

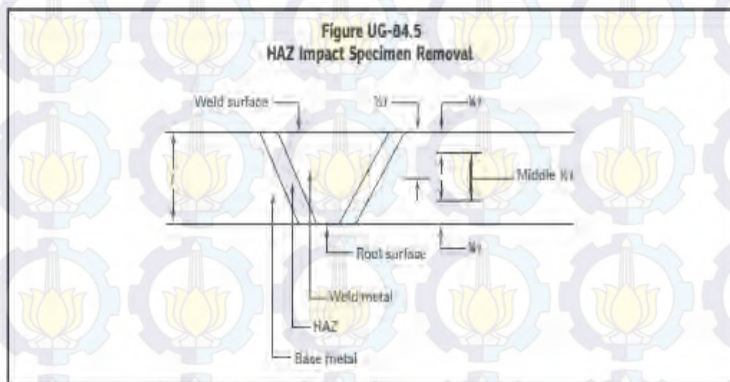
(d) for studs welded to pressure parts provided preheat to a minimum temperature of 200°F (95°C) is applied when the thickness of the pressure part exceeds $1\frac{1}{8}$ in. (32 mm);

(e) for corrosion resistant weld metal overlay cladding or for welds attaching corrosion resistant applied lining (see UCL 34) provided preheat to a minimum temperature of 200°F (95°C) is maintained during application of the first layer when the thickness of the pressure part exceeds $1\frac{1}{8}$ in. (32 mm).

(c) N/A = not applicable

Lampiran 4

Impact specimen removal



Lampiran 5

Komposisi material pada ASME Sec II

TABLE 1
CHEMICAL REQUIREMENTS

Elements	Composition, %			
	Grade 55 (Grade 580)	Grade 60 (Grade 615)	Grade 65 (Grade 680)	Grade 70 (Grade 745)
Carbon, max ^(a) , wt.-%				
1/2 in. (12.5 mm) and under:	0.18	0.21	0.24	0.27
Over 1/2 in. to 2 in. (12.5 to 50 mm), incl:	0.20	0.23	0.26	0.28
Over 2 in. to 4 in. (50 to 100 mm), incl:	0.23	0.25	0.28	0.30
Over 4 to 8 in. (100 to 200 mm), incl:	0.24	0.27	0.29	0.31
Over 8 in. (200 mm):	0.24	0.27	0.29	0.31
Manganese ^(b) , %				
1/2 in. (12.5 mm) and under:				
Heat analysis:	0.40-0.90	0.40-0.90 (C)	0.35-1.10	0.35-1.10
Product analysis:	0.30-0.90	0.35-0.90 (C)	0.25-1.30	0.25-1.30
Over 1/2 in. (12.5 mm):				
Heat analysis:	0.40-1.30	0.35-1.30	0.35-1.10	0.35-1.30
Product analysis:	0.30-1.30	0.25-1.30	0.25-1.30	0.25-1.30
Phosphorus, max ^(a) , wt.-%	0.015	0.015	0.015	0.015
Sulfur, max ^(a) , wt.-%	0.015	0.015	0.015	0.015
Silicon:				
Heat analysis:	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40
Product analysis:	0.13-0.45	0.13-0.45	0.13-0.45	0.13-0.45

NOTES:

(a) Applies to both heat and product analysis.

(b) For steel reduction of 0.01 percentage points below the specified maximum for carbon, an increase of 0.06 percentage point above the specified maximum for manganese is permitted, up to a maximum of 1.30% by heat analysis and 1.60% by product analysis.

(C) Grade 60 plates 1/2 in. (12.5 mm) and under in thickness may have 0.40-1.00% manganese on heat analysis, and 0.30-1.30% manganese on product analysis.

TABLE 2
TENSILE REQUIREMENTS

	Grade			
	55 (580)	60 (615)	65 (680)	70 (745)
Tensile strength, ksi (MPa) ^a	55-75 (380-515)	60-80 (415-550)	65-85 (450-585)	70-90 (485-620)
Yield strength, min, ksi (MPa) ^{a,b}	30 (205)	32 (220)	34 (240)	36 (250)
Elongation in 8 in. (200 mm), min, % (B)	23	21	19	17
Elongation in 2 in. (50 mm), min, % (B)	27	25	23	21

Lampiran 2

Tabel : konversi

TABLE (Continued) Conversion Factors

Mass		
1 kg	= 2.204 623 lbm	1 lbm = 0.453 592 kg
1 tonne	= 1000 kg	1 slug = 14.5939 kg
1 grain	= 6.47989×10^{-5} kg	1 ton = 2000 lbm
Moment (torque)		
1 N-m	= 0.737 562 lbf-ft	1 lbf-ft = 1.355 818 N-m
Momentum (mV)		
1 kg-m/s	= 7.232 94 lbm-ft/s = 0.224809 lbf-s	1 lbm-ft/s = 0.138 256 kg-m/s
Power		
1 W	= 1 J/s = 1 N-m/s = 0.737 562 lbf-ft/s	1 lbf-ft/s = 1.355 818 W = 4.626 24 Btu/h
1 kW	= 3412.14 Btu/h	1 Btu/s = 1.055 056 kW
1 hp (metric)	= 0.735 499 kW	1 hp (UK) = 0.7457 kW = 550 lbf-ft/s = 2544.43 Btu/h
1 ton of refrigeration	= 3.516 85 kW	1 ton of refrigeration = 12 000 Btu/h
Pressure		
1 Pa	= 1 N/m ² = 1 kg/m-s ²	1 lbf/in. ² = 6.894 757 kPa
1 bar	= 1.0×10^5 Pa = 100 kPa	1 atm = 14.695 94 lbf/in. ² = 29.921 in. Hg [32 F] = 33.899 5 ft H ₂ O [4°C]
1 atm	= 101.325 kPa = 1.01325 bar = 760 mm Hg [0°C] = 10.332 56 m H ₂ O [4°C]	1 Pa = $0.000 6895$ bar
1 torr	= 1 mm Hg [0°C]	1 in. Hg [0°C] = 0.49115 lbf/in. ²
1 m m Hg [0°C]	= 0.133 322 kPa	1 in. H ₂ O [4°C] = 0.036126 lbf/in. ²
1 m H ₂ O [4°C]	= 9.806 38 kPa	
Specific energy		
1 kJ/kg	= 0.42992 Btu/lbm = 334.55 lbf-ft/lbm	1 Btu/lbm = 2.326 kJ/kg 1 lbf-ft/lbm = 2.98907×10^{-3} kJ/kg = 1.28507×10^{-3} Btu/lbm

Tabel : lanjutan

TABLE. 1 Conversion Factors

Area

$$\begin{aligned}
 1 \text{ mm}^2 &= 1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2 & 1 \text{ ft}^2 &= 144 \text{ in.}^2 \\
 1 \text{ cm}^2 &= 1.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 0.1550 \text{ in.}^2 & 1 \text{ in.}^2 &= 6.4516 \text{ cm}^2 = 6.4516 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \\
 1 \text{ m}^2 &= 10.7639 \text{ ft}^2 & 1 \text{ ft}^2 &= 0.092903 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Conductivity

$$\begin{aligned}
 1 \text{ W/m-K} &= 1 \text{ J/s-m-K} \\
 &= 0.577789 \text{ Btu/h-ft-R} & 1 \text{ Btu/h-ft-R} &= 1.730735 \text{ W/m-K}
 \end{aligned}$$

Density

$$\begin{aligned}
 1 \text{ kg/m}^3 &= 0.06242797 \text{ lbm/ft}^3 & 1 \text{ lbm/ft}^3 &= 16.01846 \text{ kg/m}^3 \\
 1 \text{ g/cm}^3 &= 1000 \text{ kg/m}^3 \\
 1 \text{ g/cm}^3 &= 1 \text{ kg/L}
 \end{aligned}$$

Energy

$$\begin{aligned}
 1 \text{ J} &= 1 \text{ N-m} = 1 \text{ kg-m}^2/\text{s}^2 \\
 1 \text{ J} &= 0.737562 \text{ lbf-ft} & 1 \text{ lbf-ft} &= 1.355818 \text{ J} \\
 1 \text{ cal (Int.)} &= 4.1868 \text{ J} & &= 1.28507 \times 10^{-3} \text{ Btu} \\
 & & 1 \text{ Btu (Int.)} &= 1.055056 \text{ kJ} \\
 1 \text{ erg} &= 1.0 \times 10^{-7} \text{ J} & &= 778.1693 \text{ lbf-ft} \\
 1 \text{ eV} &= 1.60217733 \times 10^{-19} \text{ J}
 \end{aligned}$$

Force

$$\begin{aligned}
 1 \text{ N} &= 0.224809 \text{ lbf} & 1 \text{ lbf} &= 4.448222 \text{ N} \\
 1 \text{ kp} &= 9.80665 \text{ N (1 kgf)}
 \end{aligned}$$

Gravitation

$$\begin{aligned}
 g &= 9.80665 \text{ m/s}^2 & g &= 32.17405 \text{ ft/s}^2
 \end{aligned}$$

Heat capacity, specific entropy

$$1 \text{ kJ/kg-K} = 0.238846 \text{ Btu/lbm-R} \quad 1 \text{ Btu/lbm-R} = 4.1868 \text{ kJ/kg-K}$$

Heat flux (per unit area)

$$1 \text{ W/m}^2 = 0.316998 \text{ Btu/h-ft}^2 \quad 1 \text{ Btu/h-ft}^2 = 3.15459 \text{ W/m}^2$$

Heat transfer coefficient

$$1 \text{ W/m}^2\text{-K} = 0.17611 \text{ Btu/h-ft}^2\text{-R} \quad 1 \text{ Btu/h-ft}^2\text{-R} = 5.67826 \text{ W/m}^2\text{-K}$$

Length

$$\begin{aligned}
 1 \text{ mm} &= 0.001 \text{ m} = 0.1 \text{ cm} & 1 \text{ ft} &= 12 \text{ in.} \\
 1 \text{ cm} &= 0.01 \text{ m} = 10 \text{ mm} = 0.3937 \text{ in.} & 1 \text{ in.} &= 2.54 \text{ cm} = 0.0254 \text{ m} \\
 1 \text{ m} &= 3.28084 \text{ ft} = 39.370 \text{ in.} & 1 \text{ ft} &= 0.3048 \text{ m} \\
 1 \text{ km} &= 0.621371 \text{ mi} & 1 \text{ mi} &= 1.609344 \text{ km} \\
 1 \text{ mi} &= 1609.3 \text{ m (US statute)} & 1 \text{ yd} &= 0.9144 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Tabel :lanjutan

TABLE (Continued) Conversion Factors	
Specific kinetic energy (V^2)	
$1 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 0.001 \text{ kJ/kg}$	$1 \text{ ft}^2/\text{s}^2 = 3.9941 \times 10^{-5} \text{ Btu/lbm}$
$1 \text{ kJ/kg} = 1000 \text{ m}^2/\text{s}^2$	$1 \text{ Btu/lbm} = 25037 \text{ ft}^2/\text{s}^2$
Specific potential energy (Zg)	
$1 \text{ m} \cdot g_{\text{std}} = 9.80665 \times 10^{-3} \text{ kJ/kg}$	$1 \text{ ft} \cdot g_{\text{std}} = 1.0 \text{ lbf} \cdot \text{ft}/\text{lbm}$
$= 4.21607 \times 10^{-3} \text{ Btu/lbm}$	$= 0.001285 \text{ Btu/lbm}$
	$= 0.002989 \text{ kJ/kg}$
Specific volume	
$1 \text{ cm}^3/\text{g} = 0.001 \text{ m}^3/\text{kg}$	
$1 \text{ cm}^3/\text{g} = 1 \text{ L/kg}$	
$1 \text{ m}^3/\text{kg} = 16.01846 \text{ ft}^3/\text{lbm}$	$1 \text{ ft}^3/\text{lbm} = 0.062428 \text{ m}^3/\text{kg}$
Temperature	
$1 \text{ K} = 1^\circ\text{C} = 1.8 \text{ R} = 1.8 \text{ F}$	$1 \text{ R} = (5/9) \text{ K}$
$\text{TC} = \text{TK} - 273.15$	$\text{TF} = \text{TR} - 459.67$
$= (\text{TF} - 32)/1.8$	$= 1.8 \text{ TC} + 32$
$\text{TK} = \text{TR}/1.8$	$\text{TR} = 1.8 \text{ TK}$
Universal Gas Constant	
$R = N_0 k = 8.31451 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K}$	$R = 1.98589 \text{ Btu/lbmol} \cdot \text{R}$
$= 1.98589 \text{ kcal/kmol} \cdot \text{K}$	$= 1545.36 \text{ lbf} \cdot \text{ft}/\text{lbmol} \cdot \text{R}$
$= 82.0578 \text{ atm} \cdot \text{L}/\text{kmol} \cdot \text{K}$	$= 0.73024 \text{ atm} \cdot \text{ft}^3/\text{lbmol} \cdot \text{R}$
	$= 10.7317 (\text{lb}/\text{in.}^2) \cdot \text{ft}^3/\text{lbmol} \cdot \text{R}$
Velocity	
$1 \text{ m/s} = 3.6 \text{ km/h}$	$1 \text{ ft/s} = 0.681818 \text{ mi/h}$
$= 3.28084 \text{ ft/s}$	$= 0.3048 \text{ m/s}$
$= 2.23694 \text{ mi/h}$	$= 1.09728 \text{ km/h}$
$1 \text{ km/h} = 0.27778 \text{ m/s}$	$1 \text{ mi/h} = 1.46667 \text{ ft/s}$
$= 0.91134 \text{ ft/s}$	$= 0.44704 \text{ m/s}$
$= 0.62137 \text{ mi/h}$	$= 1.609344 \text{ km/h}$
Volume	
$1 \text{ m}^3 = 35.3147 \text{ ft}^3$	$1 \text{ ft}^3 = 2.831685 \times 10^{-2} \text{ m}^3$
$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 0.001 \text{ m}^3$	$1 \text{ in.}^3 = 1.6387 \times 10^{-5} \text{ m}^3$
$1 \text{ Gal (US)} = 3.785412 \text{ L}$	$1 \text{ Gal (UK)} = 4.546090 \text{ L}$
$= 3.785412 \times 10^{-3} \text{ m}^3$	$1 \text{ Gal (US)} = 231.00 \text{ in.}^3$

BIODATA PENULIS



Penulis merupakan anak ke tiga dari tiga bersaudara yang dilahirkan pada tanggal 7 April 1994 di Surabaya. Pendidikan Formal yang pernah ditempuh meliputi SDN 04 Muarabungo Jambi selama empat tahun dan di SDN Kutisari II Surabaya selama dua tahun, kemudian melanjutkan studi ke SMP Khadijah Surabaya, dan dilanjutkan ke SMAN 17 Surabaya dengan bidang studi IPA. Kemudian penulis melanjutkan pendidikan ke tingkat perguruan tinggi di Program Studi D3 Teknik Mesin FTI-ITS pada tahun 2012 dan terdaftar sebagai mahasiswa D3 Teknik Mesin FTI-ITS dengan NRP 2112030004 serta mengambil bidang studi manufaktur. Selama masa perkuliahan penulis juga mengikuti berbagai kegiatan diluar perkuliahan seperti Kepanitiaan PADII, staff lembaga minat bakat himpunan D3 Teknik Mesin FTI-ITS dan menjadi ketua divisi mesin di team Basudewo. Penulis pernah melakukan Kerja Praktek di PT. PETROKIMIA GRESIK. Demikian sedikit biodata penulis yang dapat dilampirkan.

PENGARUH VARIASI SUHU PREHEAT TERHADAP SIFAT MEKANIS MATERIAL SA 516 GRADE 70 YANG DISAMBUNG DENGAN METODE PENGELASAN SMAW SINGLE JOINT

Tugas Akhir TM 145502

OLEH : ABDILLAH GIGIH BIMANTORO

NRP : 2112 030 004

Dosen Pembimbing : Ir. Gathot Dwi Winarto, MT

LATAR BELAKANG

- ❑ Pada repair dan maintenace pada pengelasan dibutuhkan adanya kesempurnaan pengerjaan yang disesuaikan kondisi lapangan.
- ❑ Dalam proses fabrikasi dan maintenance terutama proses pengelasan yang sebelumnya dilakukan suatu proses penyambungan bagian *Shell* pada *Heat Exchanger*. Namun pada saat proses pengelasan, distorsi / perubahan bentuk harus di minimalisir, dengan dilakukan proses preheat terlebih dahulu.
- ❑ Oleh karena itu perlu pembuktian di lapangan terhadap perlakuan proses preheat sebelum dilakukan pengelasan, apakah dapat meminimalisir adanya distorsi pengelasan. Namun pembuktian dilapangan perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut terhadap pengaruh proses preheat terhadap *mechanical properties*. Hal ini yang menjadikan dasar pemikiran dilakukannya penelitian dengan tujuan untuk menganalisa pengaruh terhadap *mechanical properties*nya.

RUMUSAN MASALAH

Berdasarkan latar belakang diatas, maka Tugas Akhir ini mempunyai rumusan masalah yang harus di selesaikan yaitu:

- Bagaimana pengaruh variasi perlakuan *preheat* pada hasil pengelasan (lebar HAZ, Makro Etsa)?
- Bagaimana pengaruh variasi perlakuan *preheat* terhadap sifat mekanis material?

BATASAN MASALAH

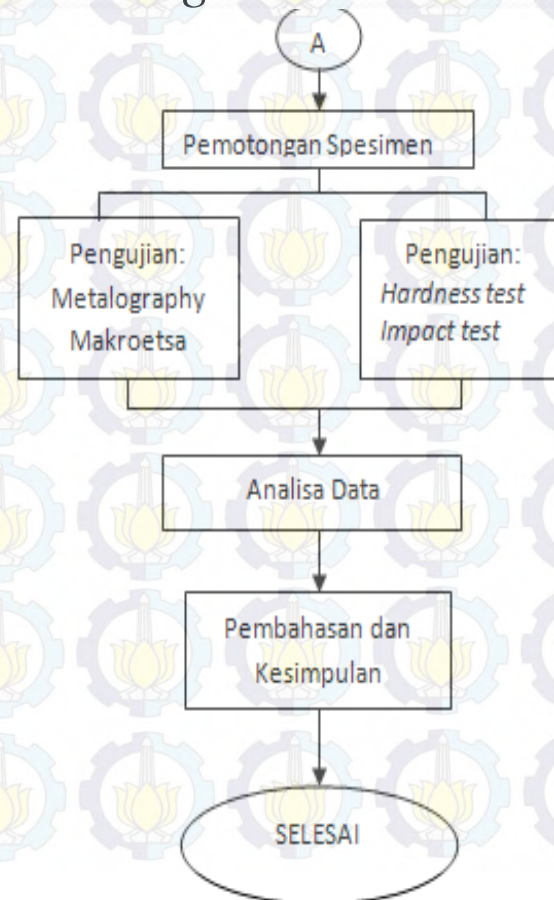
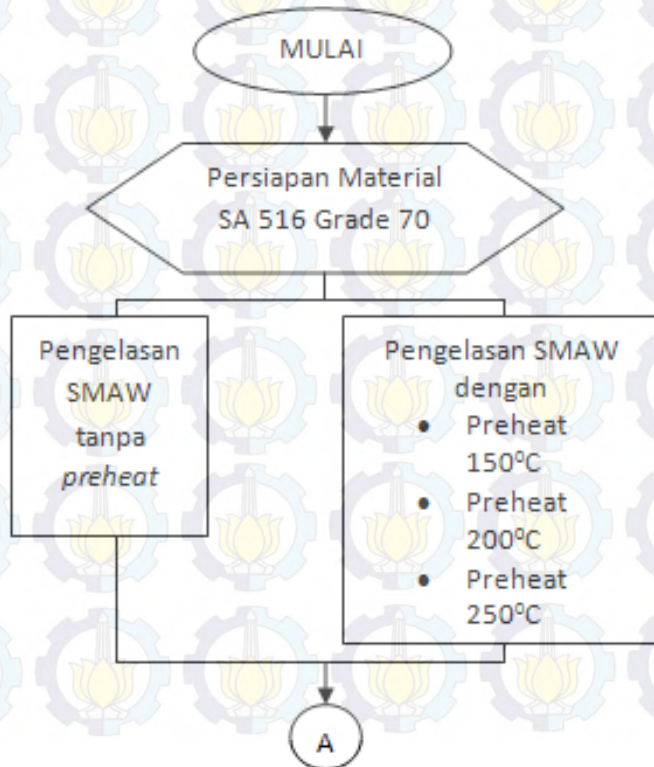
- Variasi *preheat* yang dilakukan adalah *Non preheat*, *preheat* 150°C, *preheat* 200°C, *preheat* 250°C dan kampuh yang digunakan adalah single V groove 30°
- Menggunakan proses *SMAW* dengan posisi *1G* .
- Material *SA 516 Grade 70* dengan dimensi 300x150 mm dan tebal 16 mm dengan kawat *E7016* dengan diameter 2.6 mm, dan *E8018* dengan diameter 3.2 mm
- Pengujian yang dilakukan adalah *Hardness Vickers*, *metalography* (*Makroetsa*), *Impact* untuk *HAZ* dan *Weld Metal*.
- Pengujian dilakukan pada bagian *Base Metal*, *HAZ*, dan *Weld Metal*.

TUJUAN

- Mengetahui variasi nilai kekerasan yang dihasilkan dari variasi Non *preheat*, *preheat* 150⁰C, *preheat* 200⁰C, *preheat* 250⁰C.
- Mengetahui variasi nilai ketangguhan yang dihasilkan dari variasi Non *preheat*, *preheat* 150⁰C, *preheat* 200⁰C, *preheat* 250⁰C.
- Mengetahui perbedaan struktur makro yang terjadi dari variasi Non *preheat*, *preheat* 150⁰C, *preheat* 200⁰C, *preheat* 250⁰C dilihat dari luasan *HAZ* nya.

METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah penelitian yang akan dilakukan adalah seperti yang ditunjukkan pada *flowchart diagram* berikut.



MATERIAL

Adapun komposisi kimia dari material SA 516 gr70 yang akan ditampilkan dalam tabel sebagai berikut.

SA 516 GRADE 70						
Chemical						
C	Mn	Ni	Mo	Si	Cr	V
0,45	1,009	0,04	0,04	0,25	0,01	0,036
Carbon Ekvivalen 0,70%						

SA 516 grade 70	
Tensile Strengt	
YS (Newton/mm ²)	TS (Newton/mm ²)
486	544

ANALISA DAN PEMBAHASAN

Data Pengelasan yang Didapatkan:

NAMA	KETERANGAN
Material Spesification	SA 516 gr 70
P-N0	1 group 2
Tebal	16 mm
Weld metal analysis A.no	*)
Spesification (SFA)	5.5
AWS Classification	E 7016 dan E 8018
Filler metal Dia, mm	2,6mm dan 3,2mm
Posisi pengelasan	1G

Proses	SMAW	SMAW
Layer number/pass	2-5	Root
Travel speed,mm/min	1.3 - 0.97	1.5
Amperage	137 - 138	78 - 80
Polaritas AC, DC	DC+	DC -
Voltage	24 - 27	24 - 27
Electrode diameter,mm	3.2	2.6

HASIL PENGUJIAN KEKERASAN

Preheat	line	WELD METAL				HAZ			BASE METAL				
Non Preheat	1	58	65.5	61.5	61.667	55	56.2	55.6	56	58	54	56.5	56.125
	2	60.5	61.2	60	60.56	56	55	55.5	55.5	57.5	56.7	56.2	56.475
	3	60.1	59	59.5	59.53	55	55.5	55.25	54.5	57	57	56.9	56.35
rata-rata					60,58			55,45					56,3
Preheat 150	1	63.9	55.6	62.5	60.66	53.5	51	52.25	56	56	57.6	57.9	56.8
	2	56	59.7	61.4	59.03	56.5	57.5	57	54	55.8	54.5	56	55.075
	3	59	60.9		59.95	54.6	53.5	54.05	56.5	54.5	56	57	56
rata-rata					59,88			54,43					55.96
Preheat 200	1	60	61	61	60.66	55.1	47.1	51.1	57	58.2	56	56	56.8
	2	58.5	59	59.5	59	53.9	59.9	56.7	51.5	52.5	54.5	53.5	53
	3	57	59	55	57	54.5	51	52.75	54.5	54.5	50	53	52.975
rata-rata					58.88			53,51					54,2
preheat 250	1	63.9	55.6	62.5	60.66	55	59	57	36.6	52.5	52.5	54	48.9
	2	56	59.7	61.4	59.03	53.5	48	50.75	49	58.9	52	51.4	52.82
	3	59	60.9		59.95	50	52	51	57	59.5	54.5	56.4	56.85
rata-rata					59,88			52,91					52,85

Dari data tabel diatas didapat nilai rata-rata kekerasan test piece sebagai berikut:

Nilai Kekerasan (HRB)				
Titik identasi	Non Preheat	Preheat 150°C	Preheat 200°C	Preheat 250°C
WM	60,56	59,88	59,49	58,88
HAZ	56,3	55,96	54,2	53,51
BM	55,43	54,43	53,51	52,91
Ket : BM = Base Metal, WM = Weld Metal, HAZ = Heat Affected Zone				

GRAFIK PENGUJIAN KEKERASAN



Keterangan: 1. Weld Metal 2. HAZ 3. Base Metal.

KESIMPULAN

Dari grafik uji kekerasan yang ditampilkan, dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai kekerasan rata-rata yang paling tinggi untuk semua perlakuan proses Preheat terdapat pada daerah Weld Metal, dan nilai rata-rata kekerasan yang paling rendah terdapat pada daerah Base Metal.

Hal ini disebabkan karena laju pendinginannya relatif lebih rendah bila dilakukan proses preheat

Maka dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai kekerasan yang paling terdapat pada benda uji yang dilakukan perlakuan Non Preheat dan nilai kekerasan akan terus menurun pada benda uji yang dilakukan proses perlakuan Preheat.

PENGUJIAN IMPACT

Preheat	BM	HAZ	WM
Non Preheat	0,3367435	0,340696	0,340696
Preheat 150	0,3408915	0,340806	0,340806
Preheat 200	0,3409185	0,340809	0,340809
Preheat 250	0,340936	0,340672	0,340672

Pada pengujian impact ini akan diketahui bagaimana ketangguhan dari benda kerja yang dilakukan variasi preheat.

GRAFIK PENGUJIAN IMPACT



Keterangan : 1. Weld Metal 2. HAZ 3. Base Metal

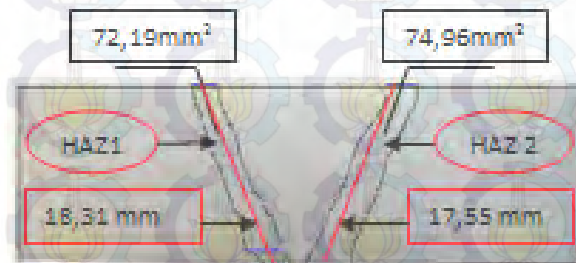
KESIMPULAN

- Nilai *Impact Strength* rata-rata untuk seluruh benda uji yang paling tinggi terdapat pada bagian *Base Metal* namun pada salah satu benda uji diketahui nilai *Impact Strength* paling rendah pada bagian *Non Preheat* karena Luas penampang Lebih besar diantara yang lainnya , dan rata-rata nilai *Impact Strength* yang paling rendah terdapat pada bagian *Weld Metal*.
- Untuk nilai *Impact Strength* yang paling tinggi terdapat pada benda uji yang dilakukan proses Preheat 250°C pada bagian Base Metal dan nilai *Impact Strengt* yang terendah terdapat pada benda uji yang dilakukan proses *non Preheat* pada bagian *Base metal*.
- Maka dapat ditarik kesimpulan semakin tinggi suhu Preheat maka nilai *Impact Strength* akan semakin tinggi dan sebaliknya bila semakin rendah sampai tidak dilakukan preheat maka nilai *Impact Strength* akan semakin rendah.

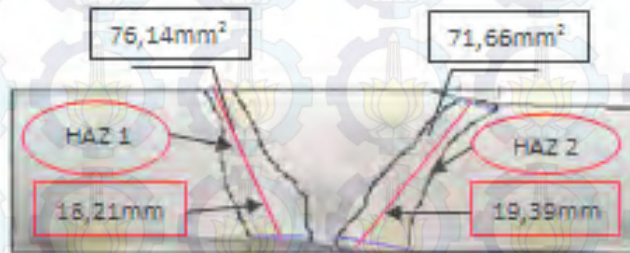
HASIL MAKRO ETSA



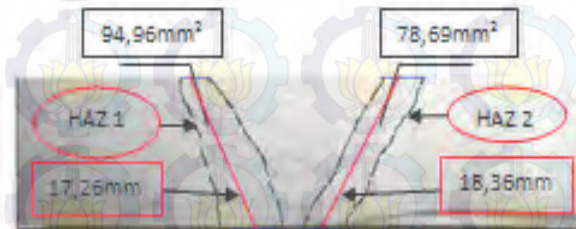
Gambar 4.7 Dimensi Non Preheat



Gambar 4.9 Dimensi Preheat 150°C



Gambar 4.11 Dimensi Preheat 200°C



Gambar 4.13 Dimensi Preheat 250°C

Data Lebar HAZ

Tabel 4.8 Lebar HAZ

TEST PIECE	HAZ					
	HAZ 1			HAZ 2		
	A (mm ²)	X (mm)	Y (mm)	A (mm ²)	X (mm)	Y (mm)
Non preheat	75,37	19,6	3,84540	68,45	18,91	3,61977
Preheat 150°C	72,19	18,31	3,94265	74,96	17,55	4,27122
Preheat 200°C	76,14	18,21	4,18121	71,66	19,39	3,69571
Preheat 250°C	94,96	17,26	5,50173	78,69	18,36	4,28594

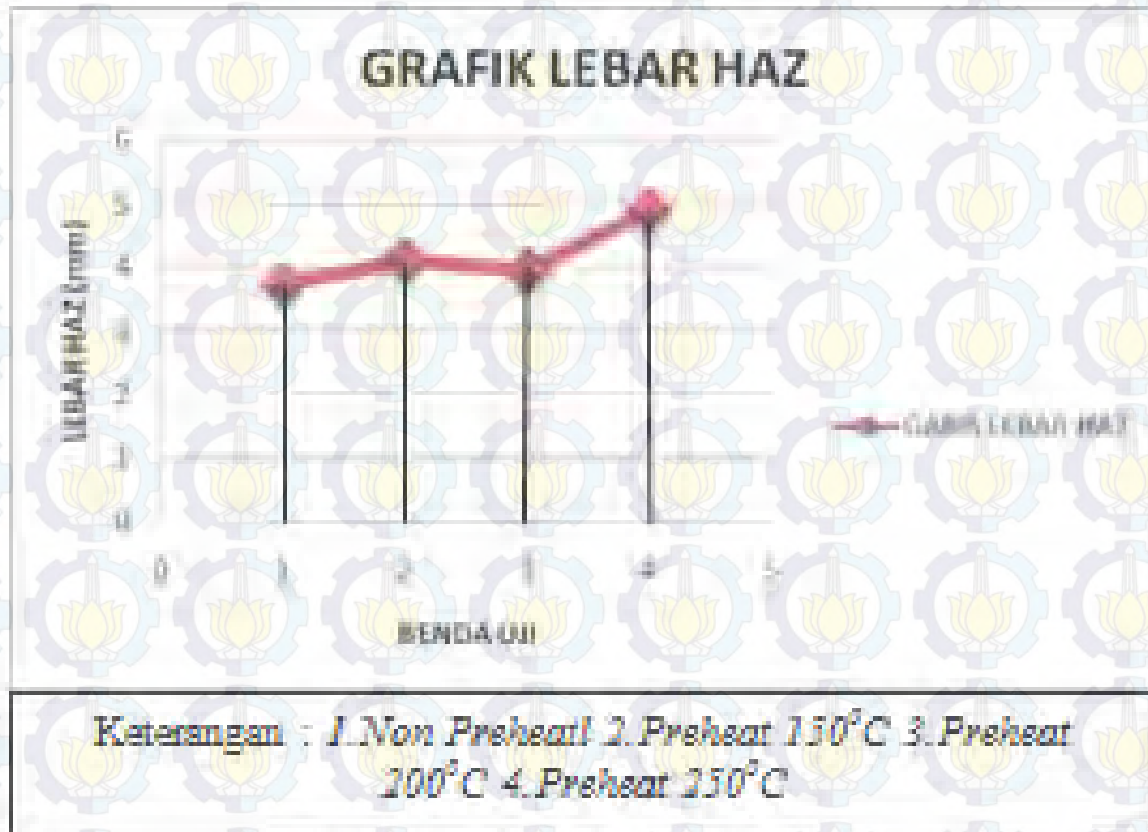
Keterangan : A (Luas HAZ), X(Panjang Acuan HAZ), Y(Lebar rata-rata HAZ pada satu bidang)

Data Lebar HAZ

Tabel 4.9 Lebar rata-rata HAZ

TEST PIECE	Lebar HAZ 1 (mm)	Lebar HAZ 2 (mm)	Lebar Rata- rata HAZ (mm)
Non preheat	3,84540	3,61977	3,732593
Preheat 150°C	3,94265	4,27122	4,10694
Preheat 200°C	4,18121	3,69571	3,938469
Preheat 250°C	5,50173	4,28594	4,893843

Grafik Lebar HAZ



Gambar 4.16 Grafik Luas HAZ

KESIMPULAN

Penjelasan diatas dapat dijelaskan pada rumus berikut ini:

$$\frac{1}{T_p - T_0} = \frac{4,13 \cdot \rho C \cdot t \cdot y}{H_{net}} + \frac{1}{T_m - T_0}$$

Keterangan:

H_{net} = $H_{input} \times f$ (efisiensi perpindahan kalor)

T_0 = Temperatur awal pengelasan

T_p = Temperatur batas Haz dan Base Metal

T_m = Temperatur Melting

ρC = $0,0044 \text{ J/mm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$

t = tebal plat

y = Lebar HAZ

Lebar dari *HAZ* tergantung dari beberapa faktor salah satunya *Heat Input* dan temperatur awal pengelasan, dari pengelasan yang dilakukan pada penelitian ini terdapat variasi temperatur *Preheat*. Temperatur preheat inilah yang mempengaruhi dari lebar *HAZ*. Lebar *HAZ* ini juga berpengaruh terhadap Luasan dari *HAZ* semakin lebar *HAZ* maka lebar *HAZ* semakin lebar

Maka dari data yang ditampilkan oleh tabel dapat diambil kesimpulan bahwa lebar dari *HAZ* juga di pengaruhi oleh temperatur *Preheat*. Benda uji yang dilakukan proses *Preheat* dengan suhu paling tinggi akan membuat luas *HAZ* semakin luas, sedangkan benda uji yang tidak dilakukan proses *preheat* lebarnya cenderung lebih kecil.

The background of the slide features a repeating pattern of yellow lotus flowers centered within light blue gears. The pattern is arranged in a grid across the entire slide. At the top, there are decorative wavy lines in shades of red and orange.

TERIMAKASIH

Lampiran

P-No.	Grp. No.	Spec. No.	Type, Grade, or UNS No.
Steel and Steel Alloys (Cont'd)			
1	2	A/SA-234	WPC
1	2	A/SA-266	2
1	2	A/SA-266	3
1	2	A/SA-266	4
1	2	A/SA-299	A
1	2	A/SA-350	LF2
1	2	A/SA-352	LCC
1	2	A356	1
1	2	A/SA-372	B
1	2	A381	Y52
1	2	A381	Y56
1	2	A381	Y60
1	2	A/SA-414	F
1	2	A/SA-414	G
1	2	A/SA-455	--
1	2	A/SA-487	Gr. 16, CL A
1	2	A501	B
1	2	A/SA-508	1
1	2	A/SA-508	1A
1	2	A513	1020 CW
1	2	A513	1025 CW
1	2	A/SA-515	70
1	2	A/SA-516	70

P-No.	Grp. No.	Spec. No.	Type, Grade, or UNS No.
Steel and Steel Alloys (Cont'd)			
1	2	A/SA-691	CMS-75
1	2	A/SA-691	CMSH-70
1	2	A694	F56
1	2	A694	F60
1	2	A694	F65
1	2	A/SA-696	C
1	2	A707	L2, CL 3
1	2	A707	L3, CL 3
1	2	A/SA-737	B
1	2	A/SA-738	A
1	2	A/SA-765	II
1	2	API 5L	X56 (all grades)
1	2	API 5L	X60 (all grades)
1	2	API 5L	X65 (all grades)
1	2	MSS SP-75	WPHY-56
1	2	MSS SP-75	WPHY-60
1	2	MSS SP-75	WPHY-65
1	2	SA/AS 1548	PT490
1	2	SA/EN 10028-2	P355GH
1	2	SA/EN 10222-2	P305GH
1	2	SA/GB 713	Q345R
1	2	SA/GB 713	Q370R
1	2	SA/JIS G3118	SGV480
1	2	A/SA-841	A, CL 1

Table UCS-56-1
Postweld Heat Treatment Requirements for Carbon and Low Alloy Steels — P-No. 1

Material	Normal Holding Temperature, °F (°C)	Minimum Holding Time At Normal Temperature for Nominal Thickness (See UW-40(f))		
		Up to 2 in. (51 mm)	Over 2 in. to 5 in. (51 mm to 125 mm)	Over 5 in. (125 mm)
P-No. 1 Gr. Nos. 1, 2, 3	1,100 (595)	1 hr./in. (25 mm), 15 min. minimum	2 hr. plus 15 min. for each additional inch (25 mm) over 2 in. (50 mm)	3 hr. plus 15 min. for each additional inch (25 mm) over 2 in. (50 mm)
Gr. No. 4	NA	None	None	None

GENERAL NOTES:

(a) When it is impractical to postweld heat treat at the temperature specified in this Table, it is permissible to carry out the postweld heat treatment at lower temperatures for longer periods of time in accordance with Table UCS-56.1.

(b) Postweld heat treatment is mandatory under the following conditions:

(1) for welded joints over 1 1/2 in. (38 mm) nominal thickness;

(2) for welded joints over 1 1/4 in. (32 mm) nominal thickness through 1 1/2 in. (38 mm) nominal thickness unless preheat is applied at a minimum temperature of 200°F (95°C) during welding. This preheat level will be applied to SA 841 Grades A and B, provided that the carbon content and carbon equivalent (CE) for the plate material, by heat analysis, do not exceed 0.34% and 0.40%, respectively, where

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Ni+V}{5} + \frac{(Cu+Si)}{15}$$

(3) for welded joints of all thicknesses if required by UW-2, except postweld heat treatment is not mandatory under the conditions specified below:

(a) for groove welds not over 1/2 in. (13 mm) size and fillet welds with a throat not over 1/2 in. (13 mm) that attach nozzle connections that have a finished inside diameter not greater than 2 in. (50 mm), provided the connections do not form ligaments that require an increase in shell or head thickness, and preheat to a minimum temperature of 200°F (95°C) is applied;

(b) for groove welds not over 1/2 in. (13 mm) in size or fillet welds with a throat thickness of 1/2 in. (13 mm) or less that attach tubes to a tube sheet when the tube diameter does not exceed 2 in. (50 mm). A preheat of 200°F (95°C) minimum must be applied when the carbon content of the tube sheet exceeds 0.22%.

(c) for groove welds not over 1/2 in. (13 mm) in size or fillet welds with a throat thickness of 1/2 in. (13 mm) or less used for attaching nonpressure parts to pressure parts provided preheat to a minimum temperature of 200°F (95°C) is applied when the thickness of the pressure part exceeds 1 1/4 in. (32 mm);

(d) for studs welded to pressure parts provided preheat to a minimum temperature of 200°F (95°C) is applied when the thickness of the pressure part exceeds 3 1/2 in. (82 mm);

(e) for corrosion resistant weld metal overlay cladding or for welds attaching corrosion resistant applied lining (see UCL-34) provided preheat to a minimum temperature of 200°F (95°C) is maintained during application of the first layer when the thickness of the pressure part exceeds 1 1/4 in. (32 mm).

(f) NA = not applicable

u/ Pelangi Indokarya 5/3-14

LG. NO. : BG1677401760517/MC/EM V J 07
 CERTIFICATE NO. :
 DATE : MAY 23, 2007
 LOT. NO. :
 DELIVERY ORD. NO. :
 SUPPLIER ORD. NO. :
 ORDER NUMBER : 1677401

PURCHASER	: SPIRIT MAGA JAYABAR, PT. PERUM PTB BLOKIC NO.14, RT.00205 KELKELAPA DUA WETAN JAKARTA
COMMODITY	: PRIME NEWLY PRODUCED HOT ROLLED STEEL IN SHEET / PLATE CUTTED EDGE.
SPECIFICATION	: ASME SA-516(M) Gr.70(485) / ASME SA-20(M) 2004 Ed. ASTM A-516(M) Gr.70(485) / ASTM A-20(M) 2000 Ed.

[illegible]